

Tesis de Posgrado

Ecología de pastizales : Descomposición de la materia orgánica

Landaburu, Argentino Carlos

1981

Tesis presentada para obtener el grado de Doctor en Ciencias
Biológicas de la Universidad de Buenos Aires

Este documento forma parte de la colección de tesis doctorales y de maestría de la Biblioteca Central Dr. Luis Federico Leloir, disponible en digital.bl.fcen.uba.ar. Su utilización debe ser acompañada por la cita bibliográfica con reconocimiento de la fuente.

This document is part of the doctoral theses collection of the Central Library Dr. Luis Federico Leloir, available in digital.bl.fcen.uba.ar. It should be used accompanied by the corresponding citation acknowledging the source.

Cita tipo APA:

Landaburu, Argentino Carlos. (1981). Ecología de pastizales : Descomposición de la materia orgánica. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.
http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_1673_Landaburu.pdf

Cita tipo Chicago:

Landaburu, Argentino Carlos. "Ecología de pastizales : Descomposición de la materia orgánica". Tesis de Doctor. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 1981.
http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_1673_Landaburu.pdf

EXACTAS UBA

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales



UBA

Universidad de Buenos Aires

Ecología de pastizales

**DESCOMPOSICION DE LA
MATERIA ORGANICA**

Argentino Carlos Landaburu

1673

**Tesis presentada para aspirar al Doctorado
en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de Buenos Aires
Buenos Aires 1981**

El presente trabajo fue realizado en dos instituciones de investigación pertenecientes a la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires: el Centro de Radiobiología y la Cátedra de Fisiología Vegetal y Fitogeografía. El autor contó para ello con una beca otorgada por la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires.

Quiero expresar mi gratitud al Ing. Agr. Aníbal H. Merzari, por su cordial apoyo y estímulo en la tarea.

Todo mi agradecimiento al Ing. Agr. Alberto Soriano, a quien debo especial reconocimiento por su orientación y comprensión.

Al Ing. Agr. Rafael Valencia quiero expresar mi reconocimiento por su apoyo y buena disposición en todo momento.

Igualmente, quiero destacar la ayuda que me brindaron los Ings. Agrs. Rolando León, Horacio Alippe, Jorge Lemcoff, Claudio Ghera y Osvaldo Sala, quienes compartieron sin reservas su experiencia en la zona de estudio y cuya cordialidad me ayudó a superar las dificultades de las tareas de campo.

OBJETIVOS

Pueden resumirse de la siguiente manera los objetivos perseguidos en este estudio:

En primer lugar, determinar los ritmos de descomposición de celulosa en el suelo en ecosistemas de pastizal natural, tanto en condiciones de pastoreo como en áreas protegidas del mismo, integrando además como variables la profundidad de enterramiento del material celulósico y su tiempo de residencia.

En segundo lugar, ajustar los datos obtenidos a expresiones matemáticas, con el propósito de lograr un mayor nivel de generalización y de establecer otros conceptos, derivados de aquéllas.

En tercer lugar, desarrollar un método para estimar el aporte de broza en el pastizal, a partir de parámetros obtenidos en los ensayos de descomposición de celulosa.

Con objeto de proceder rigurosamente en el establecimiento de relaciones entre los valores de descomposición obtenidos como expresión de la combinación de distintas variables, se utilizarán diversos métodos estadísticos. Constituirá un objetivo adicional del presente trabajo la discusión de la eficiencia de estos en relación con el tema.

SUMARIO

I. INTRODUCCION.....	pag. 1
II. DESCOMPOSICION DE CELULOSA EN UN PASTIZAL NATURAL DE LA DEPRESION DEL SALADO.....	9
II.1. Caracterización del ecosistema.....	9
II.1.1. El aspecto regional.....	9
II.1.2. El área de estudio.....	11
II.2. Ensayo preliminar.....	13
II.2.1. Métodos.....	13
II.2.2. Resultados.....	15
II.2.3. Discusión.....	15
II.3. Ensayos de descomposición de celulosa.....	28
II.3.1. Métodos.....	28
II.3.2. Descomposición de celulosa en la clay sura de 5 años a nivel superficial... .	30
II.3.3. Descomposición de celulosa en la clay sura de 6 meses a nivel superficial.. .	38
II.3.4. Descomposición de celulosa en el pas- tizal pastoreado a nivel superficial... .	44
II.3.5. Descomposición de celulosa en la clay sura de 5 años a 15 cm de profundidad .	50
II.3.6. Descomposición de celulosa en la clay sura de 6 meses a 15 cm de profundidad.	55
II.3.7. Descomposición de celulosa en el pas- tizal pastoreado a 15 cm de profundidad	60
II.4. Comparaciones entre los ensayos.....	65
II.5. Estimación del aporte de broza al suelo.....	83
II.6. Datos climáticos y de humedad del suelo.....	91
III. ENSAYOS DE DESCOMPOSICION DE CELULOSA EN UN PASTIZAL DE COIRON AMARGO DEL SUDUESTE DE CHUBUT.....	93
Conclusión.....	103
Bibliografía.....	105

I. INTRODUCCION

El desarrollo de suelos, entendidos en el sentido de cuerpo natural, es un producto de la acción de la biósfera. No el resultado de la actividad de ésta exclusivamente, dado que intervienen otros factores formadores tales como la atmósfera, caracterizada por un determinado tipo climático, y la litósfera como material originario, desenvolviéndose acciones complejas entre ellos durante un prolongado período de tiempo. Es difícil concebir la formación de verdaderos suelos sin la aparición previamente de la vida sobre la tierra, aunque en ausencia de ella igualmente pudo existir algún ataque de la atmósfera y del agua sobre las rocas en medida suficiente como para fragmentarlas y dar origen a cierta estratificación (Margalef, 1974). Sin embargo, la formación de verdaderos suelos parece ser inseparable del desarrollo de la biósfera, y paralelo a éste.

Los ecosistemas terrestres descansan sobre un sustrato sólido, cuya conformación como un suelo puede ser considerado como el resultado de una interacción prolongada entre la biósfera y la litósfera, en un proceso del tipo de autoorganización de una interfase (22). Llama la atención, sin embargo, que el cuerpo de conocimientos que podría englobarse dentro de una rama de la Ecología -Ecología del Suelo- no sea muy voluminoso. Existe, sí, una abundante información generada por edafólogos y agrónomos, de la cual pueden entresacarse muchos datos claramente ecológicos, pero es relativamente escaso el número de trabajos científicos concientemente diseñados como pertenecientes a la Ecología del Suelo.

El suelo es parte integrante esencial de los ecosistemas terrestres, siendo considerado por Eugene Odum como un subsistema en atención a su importancia (29). Es esencial a los sistemas terrestres en mayor medida en que pueden serlo los fondos marinos o lacustres con respecto a sus propios ecosistemas, al faltar en estos una vegetación verdaderamente arraigada con sus efectos consecuentes de estructuración y transporte, entre otras diferencias, proponiéndose entonces que se los denomine sedimentos y no suelos sumergidos (22).

Una elevada proporción de la energía que fluye por los ecosistemas terrestres pasa por el suelo. La mayor parte de la producción primaria neta anual de los ecosistemas terrestres cae a la superficie del suelo bajo la forma de restos orgánicos, según una opinión (Wiegert, Coleman y Odum, 1968). En muchos casos la acumulación de hojarasca representa una parte importante de la producción primaria, que puede alcanzar hasta el 30 % de ésta; casi toda la producción de hoja tiene este destino en los bosques (22).

La cantidad de biomasa vegetal que entra a las cadenas de pastoreo es mayor en los ecosistemas de pastizal, siendo en consecuen -

cia menor la que cae al suelo, dependiendo fuertemente la proporción en que esto ocurre de la presión de pastoreo por parte de los herbívoros que mantiene el hombre. Cálculos efectuados para el conjunto de la biósfera (Szalay, citado, 22) indican que la cantidad de carbono contenida en los cuerpos de los seres vivientes es de 7×10^{11} toneladas, mientras que la cantidad de carbono incluida en la materia orgánica del suelo es de 60×10^{11} toneladas; la proporción resultante es de 1 : 8 . Puede haber alguna sobreestimación en estos valores, dado que otras aproximaciones son sensiblemente inferiores, de alrededor de la mitad de aquellos, pero igualmente la cita resulta elocuente para ilustrar la importancia de la materia orgánica que se halla en el suelo.

Existe una considerable superposición en la terminología utilizada para denominar a los compuestos orgánicos del suelo. Su naturaleza química es muy variada y no constante. La nomenclatura antigua basada en procedimientos de fraccionamiento por medio de soluciones básicas, ácidas y líquidos orgánicos, e igualmente las técnicas modernas que incluyen métodos de espectrometría, no alcanzan a definir claramente grupos de compuestos cuyo sentido funcional quede satisfactoriamente establecido.

La denominación de materia orgánica parece adecuada como término general para abarcar al conjunto de los compuestos del carbono presentes en el suelo y que se hallan fuera de las unidades protoplasmáticas vivientes; es decir, quedan excluidas las raíces y los microorganismos vivos, distinción importante dado que la biomasa de las primeras es elevada generalmente. La materia orgánica cuya estructura microscópica original ya no puede reconocerse y presenta por lo tanto un aspecto amorfo, de color negro o casi negro, es el humus; este material puede considerarse que es elaborado o producido por el mismo suelo, en el sentido de que aparece como resultado de acciones biológicas y químicas ocurridas en su seno. La materia orgánica cuya estructura íntima vegetal o animal todavía puede reconocerse, es la denominada fresca, constituyendo el paso previo a la formación del humus.

Los restos vegetales pueden ser apenas evidentes sobre la superficie del suelo o acumularse temporariamente formando una capa más o menos continua. En este caso constituye lo que se conoce como mantillo, hojarasca, litera o broza, término este último que parece adecuado para ser utilizado en los ecosistemas de pastizal.

El humus no representa la etapa final de la degradación de los restos que caen al suelo. El largo proceso que lleva a la formación del humus se completa con la mineralización del mismo, con lo que concluye la reducción de las complejas moléculas biológicas al nivel de compuestos inorgánicos (Domerges y Mangenot, 1970). A pesar de la gran cantidad de carbono orgánicamente combinado que existe en el suelo, como se ha señalado, el contenido energético de las

moléculas es bajo, razón por la cual la biomasa total que pueden sostener no es muy elevada, aunque sí muy diversificada. Una expresión de la actividad total de esta biomasa es la denominada respiración total del suelo, o sea la producción de anhídrido carbónico por unidad de superficie y de tiempo, la que puede ser relacionada con distintas características del ecosistema, tales como la capacidad de descomposición de materia orgánica (May, 1972; Lengkeek y Pengra, 1972). Inclusive, el aporte de carbónico del suelo puede ser importante como fuente para la fotosíntesis (Monteith, Szeicz y Yabuki, 1965).

En base a los mecanismos de extracción, se distinguen varios tipos de humus: humina, fracción insoluble en álcalis; ácido húmico, soluble en solución alcalina; ácido fúlvico, soluble en ácidos; ácido humatomelánico, soluble en alcohol. Estas fracciones no tienen una composición constante y su sentido funcional no ha sido bien establecido. Como característica general de todas ellas puede señalarse la presencia de moléculas cicladas, aromáticas, principalmente fenoles, así como también funciones ácidas. La ciclación avanza con el proceso de humificación, porque los materiales más fácilmente degradables desaparecen en primer lugar y permanecen las moléculas anilladas que son más resistentes a la acción microbiana. Los compuestos fenólicos se condensan e incorporan aminoácidos, pero parece estar firmemente establecido que en el humus no se encuentran proteínas. Estas son demasiado complejas como para existir como tales durante mucho tiempo en el suelo, habiendo además una gran cantidad de microorganismos proteolíticos que las utilizan como sustrato.

Existe similitud entre el humus y la lignina; las fórmulas químicas se asemejan, como así también los espectros de absorción en infrarrojo. Waksman, precursor de la microbiología del suelo, esbozó una teoría conocida como lignoproteica acerca de la formación del humus. Pero ha sido bien demostrada la ausencia de proteínas en aquél. La lignina, no obstante, contribuye sin duda de manera importante a la formación del humus, del mismo modo que la celulosa de los restos vegetales. Un 70 % del carbono-14 de los tejidos vegetales lignificados de una planta se ha hallado incorporado a las sustancias húmicas (9). El proceso de formación de estas últimas es lento; dado que la celulosa se degrada con más rapidez que la lignina, la proporción de la segunda aumenta con el tiempo mientras que la de la primera disminuye.

Dado que el proceso de elaboración del humus demanda mucho tiempo, su tasa de renovación es baja, lo cual explica en parte la magnificación del volumen de carbono del suelo en relación con el mantenido dentro de los cuerpos de los organismos vivos que se hallan por encima de la superficie. La edad de las fracciones más jóvenes puede ser de 50 a 250 años, mientras que las más antiguas alcanzan los 2000 años. Partículas húmicas consideradas fósiles, en el sen-

tido de que han quedado marginadas actuales del suelo que las formó, pueden tener 5000 años de edad (9); estos datos se obtienen mediante la datación con carbono-14.

Se postula la existencia de un proceso de maduración de las sustancias húmicas, correspondiendo las moléculas menos condensadas a los productos jóvenes, aumentando el grado de condensación con la edad (9). Sería razonable suponer que las fracciones antiguas aparecen después de mucho tiempo, pero se han realizado experiencias que contradicen esta suposición. Agregando a un suelo un extracto acuoso de trébol marcado con carbono-14, éste se detecta a los 10 días incorporado a las fracciones más antiguas, así como también a los jóvenes; los productos jóvenes y al menos una parte de los antiguos se forman simultáneamente.

Asimismo se han detectado sustancias prehúmicas en los vegetales senescentes. Hojas secadas al aire o aún verdes tratadas con cloroformo exudan en agua sustancias rápidamente oxidables, aún en condiciones asépticas, produciendo sustancias similares a los compuestos húmicos (9). Esto se debe a una condensación oxidativa de los fenoles bajo la influencia de enzimas vegetales.

El humus posee una cantidad considerable de nitrógeno, que puede alcanzar al 10 %, pero éste no parece provenir directamente de los prótidos vegetales, dado que estos se destruyen rápidamente por acción de la microflora proteolítica. La fracción nitrogenada es provista principalmente por los microorganismos, como lo sugiere el hecho de que aparecen aminoácidos extraños a las proteínas vegetales y animales, pero presentes en las paredes bacterianas, tales como el alfa diaminopimélico (9).

Los aspectos mejor conocidos del humus son los funcionales, en cuanto a las propiedades que confiere a los suelos. Aumenta enormemente la capacidad de retención de agua; el grado de estructura es incrementado, como también la capacidad de intercambio catiónica y la permeabilidad. Retiene elementos nutritivos combinados, especialmente los menores. Es probable asimismo que ejerzan los compuestos húmicos en general un efecto buffer en el suelo.

De la materia orgánica que llega al suelo, una pequeña fracción es mineralizada directamente, por acción de microorganismos; se trata de los compuestos más fácilmente atacables, tales como glúcidos, proteínas y sustancias fosforadas. Otra fracción es incorporada a la biomasa del suelo, y una tercera ingresa a un largo proceso de humificación. Como último término, el humus es lentamente mineralizado, proceso también denominado deshumificación. El desenvolvimiento equilibrado de estos procesos mantiene constante el contenido de materia orgánica del suelo, como asimismo las características que se vinculan con aquél. Las labores culturales en las tierras cultivadas aceleran la mineralización; el retiro de los res

tos de cosecha disminuye el aporte de materia orgánica fresca. Estas acciones rompen el equilibrio y el contenido de materia orgánica disminuye, disminuyendo concomitantemente la fertilidad, la capacidad de retención de agua y el grado de estructura, aumentando en cambio la susceptibilidad a la erosión.

Se han ideado modelos matemáticos simplificados para describir los ritmos de aparición y desaparición de la materia orgánica. Los modelos matemáticos, aún los simples, ofrecen ventajas: no ambigüedad, posibilidad de deducción estricta, verificabilidad por datos observados (Von Bertalanffy, 1976). Para las literas forestales se ha desarrollado el siguiente (Olson J.S. 1963, citado, 9):

$$\frac{dP}{dt} = L - kP$$

donde P: peso de la litera por hectárea

L: producción anual de litera

k: fracción de la litera que desaparece, por humificación, mineralización, erosión u otras causas

Si el sistema está en equilibrio, $dP/dt = 0$, y entonces resulta

$$k = L/P$$

Es decir, en una situación de equilibrio lo que cae al suelo es igual a lo que desaparece por cualquier causa. Esto es general en los ecosistemas terrestres inalterados. Como excepción, en las turberas se produce una continua acumulación de materia orgánica, cuyo ritmo ha sido medido, inclusive: en una zona de reserva ha sido determinado en 1,40 cm por año (Itaska St. Park, Minnesota, E.U.A., Leisman, 1953)

La constante k resulta ser, además de una tasa de desaparición de la litera, una relación entre el aporte anual y la masa de litera permanente del suelo. En la práctica se determinan L (peso de las hojas caídas) y P (peso de la litera) para obtener k.

El valor de k es igual a 0,25 en los bosques del Este de Estados Unidos y 4 en los bosques tropicales. Esto último significa que el aporte anual es 4 veces el stand permanente de la litera en los trópicos, o sea, en 1/4 de año desaparece una cantidad de litera equivalente al stand permanente. Este rápido turnover de la materia orgánica contribuye a explicar en buena medida los conocidos casos de destrucción de los suelos de áreas tropicales cuando se elimina la cobertura arbórea.

Otro modelo que se ha propuesto parte de la distinción entre humus libre, que es una fracción ligera que se despara en líquidos orgánicos densos, y humus ligado, fijado a las partículas minerales,

abarcándose a ambos conceptos con la denominación de humus sensu lato (Greenland, D.J. y Nye, D.H., 1959, citado, 9). Ambas fracciones se corresponden aproximadamente con las ya mencionadas de productos jóvenes y antiguos, o de sustancias menos condensadas y más condensadas. Siendo

M: materia orgánica fresca

k_m : fracción de M que origina el humus sensu lato (humificación)

C: tenor de humus sensu lato

k_c : mineralización y pérdidas de humus sensu lato
resulta,

$$dC / dt = k_m M - k_c C$$

El coeficiente k_c alcanza valores muy elevados en zonas tropicales. En Colombia, a nivel del mar y con 2800 mm anuales de precipitación, k_c alcanza a 0,63. Si se tiene en cuenta que la humificación y la deshumificación son procesos muy lentos, se comprenderá que una pérdida del 63 % por año de humus es elevada. Aun se alcanzan valores mayores: 3 y 5 para el Congo e Indonesia respectivamente, los que indican un rapidísimo turnover de la materia orgánica en esas zonas. Esto se vincula con estudios recientes en la cuenca amazónica: el turnover es muy rápido y el banco de nutrientes no se encuentra en el suelo, sino en la enorme biomasa vegetal; el suelo se comporta como un lugar de paso, no de depósito, de los elementos. En cambio, k_c resulta ser menor en zonas templadas, con un valor mínimo de 0,17 (9).

El coeficiente k_m expresa la tasa de desaparición de materia orgánica fresca. Da una medida de la capacidad de digestión de la materia orgánica que cae al suelo.

En los ecosistemas terrestres, el ritmo de descomposición de materia orgánica es un dato que interesa por sí mismo, como también para permitir el ajuste de las estimaciones de la productividad del sistema. Los ensayos clásicos realizados al respecto consisten en colocar en la superficie del suelo o enterradas en el mismo muestras de material vegetal, las que después de cierto tiempo son retiradas procediéndose a analizar el grado de descomposición operado (Heath, Arnold y Edwards, 1966; Heath y Arnold, 1966, 15). Técnicas más modernas incluyen el uso de material marcado con radioisótopos cuyo destino en el suelo se rastrea posteriormente (Atlas y Hubbart 1974; Nyham, 1975, 27; Nyham, 1975, 28).

Las técnicas mencionadas utilizando material vegetal se han difundido ampliamente y han producido buena cantidad de información. Sin embargo, el uso de restos vegetales o de partes frescas tiene el inconveniente de la poca repetibilidad de los ensayos, dado la gran variedad de materiales utilizables, las diferencias posibles en el estado fisiológico si se trabaja con material vivo, etc. Por otra parte resulta difícil efectuar comparaciones entre ensayos

realizados en diferentes ecosistemas debido a que muestras de materiales a descomponer que puedan ser consideradas representativas de cada uno de ellos variarán de uno a otro. Por tal razón en años recientes se ha introducido el uso de compuestos puros en los estudios de descomposición, tal como la celulosa. Estos tienen la ventaja de una composición química definida y conocida, se obtienen fácilmente y los ensayos realizados con ellos pueden ser comparados aún tratándose de ecosistemas muy alejados geográficamente. Los experimentos de degradación de celulosa ya están siendo recopilados a nivel mundial.

A pesar de que la utilización de compuestos puros implica un cierto grado de artificialidad, en el caso de la celulosa se comprueba que brinda una razonable estimación del turnover del carbono en el suelo y de la capacidad del mismo de degradar la materia orgánica en general. Además, en ecosistemas de pastizal, en cortos períodos de ensayo -pocos meses- la degradación de celulosa se aproxima en buena medida al ritmo de descomposición de los restos de pastos.

Si bien los animales, la denominada meso y microfauna del suelo, juegan un importante rol en la descomposición de los restos orgánicos, sobre todo en las primeras etapas de destrucción física de los mismos, y aun en ciertos casos en la movilización de algunos nutrientes (Edwards, Reichle y Crossley), la actividad principal es ejercida por los microorganismos (Gnittke, Kunze y Steubing; Mayeux et al.; Waksman, 1952).

La celulosa es el material vegetal que cae en mayor proporción al suelo y por lo tanto representa la mayor fuente de carbono para el mismo (Pochon y Barjac, 1958). Su degradación microbiana se produce por la acción de bacterias, hongos y actinomicetes. Los suelos ácidos, como los de bosques de coníferas, manifiestan preponderancia de los hongos. En los suelos de pastizal se ven favorecidas las bacterias.

Los microorganismos capaces de degradar la celulosa poseen uno o ambos de dos complejos enzimáticos, denominados C_1 y C_x (teoría de Reese)³². El primero acorta las cadenas de celulosa, el segundo separa segmentos de 4,3 ó 2 restos de glucosa; todas son exoenzimas. Algunas bacterias celulolíticas producen mucus, el cual está constituido principalmente por poliurónidos.

Los géneros Cytophaga y Sporocytophaga (reconocidos por el manual Bergey, 1974) poseen ambos grupos de enzimas, llevando a cabo la degradación total de la celulosa. Algunas especies de Cellfalcicula también poseen ambos grupos. Otros géneros, como Cellvibrio y la mayoría de las especies de Cellfalcicula sólo poseen C_1 ; por lo tanto inician el ataque de la celulosa pero no lo completan, pero abren el camino a muchas otras bacterias que pueden utilizar a aque-

lla como sustrato una vez que el ataque inicial ha sido realizado.

La descomposición bacteriana de la celulosa se ve favorecida por temperaturas relativamente altas, 25 a 30 °C, por un pH neutro a ligeramente alcalino y una relación favorable entre el oxígeno y el contenido de humedad del suelo, estimándose como óptimo un 75 % de la capacidad de campo. Además requiere la existencia de nitrógeno mineral.

Todos los géneros mencionados son aeróbicos. Pero resulta interesante señalar que también se produce celulolisis anaeróbica, efectuada por numerosas especies del género Clostridium, que han sido aisladas tanto del suelo como del intestino o de las heces de herbívoros.

II. DESCOMPOSICION DE CELULOSA EN UN PASTIZAL NATURAL DE LA DEPRESION DEL SALADO

II. 1. CARACTERIZACION DEL ECOSISTEMA

II. 1. 1. El aspecto regional

La Depresión del Salado o Pampa Deprimida es una extensa depresión de relieve apenas marcado, que ocupa algo más de la cuarta parte de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, cuya forma se asemeja a la de un triángulo con vértice en el partido de Olavarría, tendiéndose hacia el Norte hasta el partido de Magdalena y hacia el Sur hasta el de Mar Chiquita. Su parte más baja se halla ocupada por el río Salado, siendo muy frecuentes las lagunas y los bajos anegables, dependiendo fuertemente de las precipitaciones el volumen de las primeras y la presencia de agua en los segundos. La alternancia de inundaciones y sequías es una característica de la región; el drenaje se presenta arreico en muchos casos y endorreico en otros, canalizando el río Salado solamente una parte del escurrimiento. Durante las crecidas la red hidrográfica se organiza en alguna medida, pero gran parte del agua no es evacuada y permanece sobre la superficie, infiltrándose en parte y evaporándose el resto lentamente en el mismo lugar donde ha caído; estas características fueron acertadamente señaladas por un estudio reciente (Tricart, 1973), pero importantes conceptos sobre el funcionamiento de la región ya habían sido adelantados por Ameghino (1886).

Las altitudes son muy bajas: de 10 a 15 m en las cercanías de la laguna de Chascomús, sólo 5 m sobre el río Salado a 40 km de distancia del mar, subiendo a 49 m en Alberti, a 280 km de la línea costera, siendo mayores hacia el Sur, de 100 m al pie del sistema de Tandilia y de 190 en Olavarría. Las pendientes son muy débiles: de 0,5% las mayores al Sur, en el piedemonte serrano, de 0,12% en los alrededores de Rauch y solamente de 0,025% en las proximidades del río Salado (Tricart, 1973)(37).

En consonancia con las características del relieve, los arroyos siguen la pendiente general sin encajonarse, no existen valles definidos, los desbordes en manto son frecuentes cuando se producen grandes lluvias. Muchos cursos corren hasta perderse, o desaguan en lagunas, que a veces suelen presentarse encadenadas, pero una verdadera integración de la red hidrográfica se observa solamente durante las crecidas. Estos rasgos son similares a los que se presentan en regiones semiáridas, pero el clima en este caso es templado húmedo a subhúmedo, con lluvias abundantes de 800 a 1.000 mm anuales distribuidas principalmente en un determinado período pero sin estación seca marcada. No es el clima por lo tanto el responsable de las características mencionadas, sino la escasa pendiente de la región (Tricart, op. cit.).

Del punto de vista geológico, la región es una fosa de hundimien



Figura II-1. Depresión del Salado, de acuerdo con los límites de los partidos (Tomado de Tricart, 1973).

to, el cual afectó a un basamento premesozoico, sobre el que se apoya el Pampiano, cuaternario. El primero se encuentra a 4.000 m de profundidad en General Belgrano, sobre el río Salado, y se continúa fuera de la Pampa Deprimida, hallándose a 300 m en la ciudad de Buenos Aires (Capannini, 1952, citado, 37).

En concordancia con los rasgos del relieve y del escurrimiento mencionados, son frecuentes los suelos hidromórficos, sódicos, o con capas endurecidas a poca profundidad. En general son mal drenados, con un horizonte B potente, arcilloso; las aguas subterráneas son casi siempre salinas desde muy cerca de la superficie, las napas son altas.

El modelado del paisaje por acción hídrica es sumamente lento (Valencia, 1975). Esto es consecuencia de la falta de pendiente, lo que hace que el potencial morfogenético de la región sea sumamente bajo, de los menores del mundo (37). La dinámica eólica actual también es ínfima, a pesar de que los vientos son frecuentes e intensos, debido a que la cobertura vegetal es densa y el clima es húmedo. Pero fue importante en épocas pasadas, en que el clima era más seco: muchas lagunas se han instalado en antiguas cubetas de deflación. Podría volver a serlo, como consecuencia de la degradación de los suelos que puede conducir a la destrucción del horizonte orgánico de los mismos y dar paso a una dinámica eólica antrópica (37).

La vegetación natural es una estepa de gramíneas, en desacuerdo con el nivel de las precipitaciones y la humedad elevada, las que se encontrarían más en consonancia con un bosque. De hecho, los implantados por el hombre prosperan sin dificultad. Este fenómeno, nunca satisfactoriamente explicado, es atribuido por Tricart a que la vegetación natural de la región es residual, no climática, heredada de un período anterior más seco; se trataría de una estepa húmeda en desequilibrio con el clima actual (37).

II.1.2. El área de estudio

Los trabajos fueron realizados en el partido de Pila; el área en que se ubican fue definida por Movia (1975) como "paisaje Las Chilcas", incluido a su vez en una unidad fisiográfica mayor denominada "ambiente sedimentario continental".

El paisaje Las Chilcas es caracterizado del siguiente modo:

"Paisaje alto, casi plano, con pendiente definida de oeste a este entre las cotas de 17,50 m y 10 m. Presenta amplios "planchones" apenas convexos separados por vías de escurrimiento poco deprimidas y algunos relieves más altos correspondientes a

"antiguos depósitos eólicos retrabajados por agua. La red de drenaje actual no está integrada, existiendo en cambio todo tipo de bajos, tales como: grandes lagunas con agua permanente, de forma casi circular y origen eólico, pero sin loma semilunar notable sobre el borde Este (Chapalquén, El Carancho, Las Chilcas); extensas depresiones con agua semipermanente, de forma irregular, poco profundas, con bordes sinuosos y generalmente cubiertas por pajonales; depresiones pequeñas, casi circulares, semihúmedas, muy numerosas, en algunos casos asociadas a vías de agua, anchas y sinuosas, poco profundas. Cierta alineación oeste-este de los bajos y lagunas sugeriría la presencia de antiguas vías de drenaje no activas en la actualidad. La napa no es muy alta (salvo en las depresiones y lagunas), pero puede elevarse considerablemente debido a las precipitaciones. Los casos de anegamiento son bastante frecuentes, relacionados con la falta de pendientes marcadas y a la presencia de un horizonte B impermeable. Dichos casos de anegamiento no parecen estar directamente asociados a los desbordes del río Salado sino a las precipitaciones".

Los suelos del área de estudio fueron descriptos morfológicamente por Valencia (1975) señalando las siguientes características:

"Suelos de perfil A Bt₃ C con presencia de concreciones calcáreas en la base del B₃. El horizonte B puede tener estructura en bloques y en algunos casos prismática. Ocupan áreas extremadamente planas Tienen un color de B claro y el drenaje es moderado a imperfecto.

Horizonte	Profundidad	Descripción
A ₁₁	0-17 cm	Pardo gris claro, franco limoso, bloque subangular medio, ligeramente friable, raíces finas abundantes.
A ₁₂	17-25 cm	Pardo gris oscuro, franco limosos, bloque subangular grande y medio, agregados con revestimiento de humus.
B ₂₁	25-38 cm	Pardo gris, franco arcilloso a franco; prismático y bloque, plástico, adhesivo, agregados con revestimientos; presenta manchas grises y negras.
B ₂₂	38-41 cm	Pardo moteado, manchas grises, ferruginosas, negras, arcilloso, bloque subangular y subangular medio, revestimiento tenue.
B _{3Ca}	41-68	Pardo claro, franco a franco limoso, bloque subangular, revestimiento tenue, discontinuo; concreciones de cal

"		cáreo en la masa.
C	68 cm -	Pardo amarillento, franco arenoso, fino a muy fino, granular fino débil, muy friable."

El suelo del área es caracterizado hasta fases:

"Fase por drenaje: moderado, moteado y concreciones a 60-90 cm.

Fase por profundidad del horizonte A_1 : de 10 a 20 cm".

La descripción reseñada fue realizada como parte de un mapeo a escala 1:20000.(38).

La vegetación natural del área ha sido definida por León (1976) como una comunidad Piptochaetium montevidensis - Ambrosia tenuifolia - Eclipta bellidioides - Mentha pulegium var., con Briza subaristata.

II.2. ENSAYO PRELIMINAR

En un pastizal natural perteneciente al área cuyas características fueron reseñadas (II.1.2.), ubicado en el establecimiento ganadero "Las Chilcas", fue realizado un ensayo preliminar de descomposición de celulosa.

II.2.1. Métodos

Se utilizó papel de filtro como material celulósico, que fue colocado en sobres de malla de polietileno de 1,5 mm de abertura; estos fueron identificados con un labelo metálico y dejados en el suelo, a distintas profundidades, por un período de 8 semanas. Las muestras fueron colocadas el 16-3-77 y retiradas el 13-5-77.

Fueron elegidos tres lugares que representan situaciones o historias diferentes. El primero de ellos es una superficie de aproximadamente 4 ha que fue clausurada al pastoreo en 1972, o sea tenía al momento del ensayo una antigüedad de 5 años como clausura. El segundo, de igual superficie, fue cerrado al pastoreo en enero de 1977, es decir su tiempo de clausura era de 3 meses. El tercero es el pastizal pastoreado, utilizado para una ganadería extensiva de cría de vacunos. Se hará referencia al primero como "clausura antigua", al segundo como "clausura reciente" y al último como "pastizal pastoreado". Las muestras fueron colocadas a distintas profundidades en el suelo: a 15 cm, a 5 cm y sobre la superficie, descubiertas.

Para cada combinación situación - profundidad se depositaron 10 muestras, que fueron retiradas simultáneamente pasado el tiempo de permanencia en el suelo de 8 semanas; es decir, se dispusieron 10 repeticiones para cada dato de descomposición correspondiente a un lugar y profundidad determinados.

Las muestras fueron ubicadas horizontalmente en su lugar, luego de remover una porción de suelo que fue devuelta a su sitio tratando de no alterar el orden en que se encontraba. En la preparación y tratamiento de las muestras se siguieron los procedimientos empleados por E.A. Paul (1974).

El papel de filtro fue embebido en una solución de nitrato de sodio al 11%, dejándose caer el exceso de líquido por gravedad; este procedimiento tiene por objeto uniformar la disponibilidad de nitrógeno inorgánico por parte de las bacterias celulolíticas una vez colocadas las muestras en el suelo.³¹ La concentración local de este elemento puede variar ampliamente en un mismo suelo; dado que es un factor que controla fuertemente el ataque microbiano a la celulosa, es necesario proveerlo en cantidad suficiente para asegurar que no pueda resultar limitante durante la experiencia,¹⁶ permitiendo de esta manera la aparición de diferencias en el grado de descomposición del material que puedan ser atribuidas a los factores en estudio. Ellos son en este caso la situación de clausura al pastoreo y la profundidad de ubicación de las muestras.

El grado de descomposición del material celulósico fue determinado por la pérdida de peso del mismo luego de la permanencia en el suelo. Antes de la colocación en éste, cada trozo de papel fue secado en estufa a 70 °C, pesado y tratado con solución de nitrato de sodio; se lo dejó secarse al aire y luego fue incluido en un sobre de malla de polietileno. Al ser retiradas las muestras del suelo, fueron lavadas con agua corriente, con objeto de desprender los materiales extraños adheridos; los restos de papel fueron extraídos del sobre, secados en estufa a 70 °C, pesados, calcinados en mufla a 550 °C durante una hora y pesadas las cenizas. Por otra parte, se determinó el contenido de cenizas del papel de filtro con el que se trabajó, mediante la calcinación en mufla a 550 °C durante una hora de un trozo de dimensiones apropiadas.

El cálculo del grado de descomposición de las muestras fue hecho de la siguiente manera. Del peso seco de cada trozo de papel se sustrajo el peso de sus cenizas, obtenido como fracción del primero, hallándose así el contenido de celulosa original. Del peso seco de los restos de papel recuperado del suelo se sustrajo el peso de sus cenizas, en las que está incluido el peso de los materiales minerales adheridos, con lo que se obtuvo el peso de la celulosa remanente. Este, dividido por el contenido de celulosa original, proporciona la fracción de celulosa remanente, y su diferencia a la unidad, la fracción degradada. Todas las pesadas fueron hechas apreciando la décima de miligramo.

El método tradicional de determinación de la descomposición de celulosa consiste en calcular la pérdida gravimétrica de material seco, sea éste papel de filtro o tela de algodón, sin considerar la adición de material extraño resultante de la permanencia en el suelo.

Este procedimiento lleva a subestimar la descomposición realmente operada. Con objeto de corregir esta subestimación, que puede alcanzar al 15 % (Paul, 1974) se toman en consideración las cenizas: las propias del material empleado se sustraen como fracción del peso seco original; las del material orgánico residual sumadas a las partículas minerales del suelo adheridas, que constituyen estas últimas la mayor fuente de error, se determinan mediante la calcinación como se ha descrito y también se sustraen. En definitiva la descomposición operada se calcula como relación entre material celulósico libre de cenizas antes y después de la estadía en el suelo.

II.2.2. Resultados

Los datos unitarios se ordenan en la tabla II-1. Como puede observarse, las cenizas del material recuperado del suelo en muchos casos están en el mismo orden de magnitud que el contenido de celulosa original e inclusive llegana excederlo. Esto se debe a que resulta muy difícil eliminar por lavado el material mineral adherido sin correr el riesgo de perder restos pequeños del material celulósico.

Para cada combinación de situación y profundidad se ha calculado el valor medio de los datos unitarios de descomposición porcentual y el error standard correspondiente:

		media	error standard
clausura de 5 años	nivel superficial	2,2	1,1
	profundidad 5 cm	60,3	8,1
	profundidad 15 cm	60,8	9,0
clausura de 3 meses	nivel superficial	6,3	1,4
	profundidad 5 cm	41,7	6,1
	profundidad 15 cm	29,0	8,3
pastizal pastoreado	nivel superficial	6,6	1,6
	profundidad 5 cm	33,6	9,8
	profundidad 15 cm	32,5	6,2

Estos valores medios se representan en la figura II-2. Para efectuar comparaciones entre ellos se utiliza el test de "t" (Student), dado que las varianzas son desconocidas pero se estiman homogéneas. Esto último se comprueba por la razón de varianzas F, utilizando las tablas de Snédecor (tabla II-2).

II.2.3. Discusión

La tasa de descomposición es significativamente mayor a cualquier profundidad con respecto al nivel superficial, en las tres si-

TABLA II-1. Datos unitarios de descomposición de celulosa

Todos los pesos en gramos. Cenizas del papel de filtro: 2,48 % del peso seco

situación y profundidad	identificación de la muestra	peso seco original	contenido de celulosa original	peso seco del material recuperado	cenizas del material recuperado	celulosa remanente libre de cenizas	remanente porcentual	descomposición porcentual
clausura de 5 años, ni- vel superfi- cial	31	0,2102	0,2050	0,5323	0,2340	0,2983	100	0
	35	0,2945	0,2872	0,3131	0,0300	0,2831	98,6	1,4
	109	0,3471	0,3385	0,6080	0,2468	0,3612	100	0
	148	0,3378	0,3294	0,2986	0,0046	0,2940	89,2	10,8
	91	0,2931	0,2858	0,7704	0,4709	0,2995	100	0
	16	0,2929	0,2856	muestra no recuperada				
	6	0,3001	0,2927	0,3745	0,0827	0,2918	99,7	0,3
	119	0,3258	0,3177	0,3667	0,0397	0,3270	100	0
	135	0,3073	0,2997	0,2958	0,0060	0,2898	96,7	3,3
	145	0,3311	0,3229	0,3489	0,0406	0,3083	95,5	4,5
clausura de 5 años, profundidad 5 cm	79	0,3034	0,2959	0,2966	0,2443	0,0523	17,7	82,3
	18	0,2809	0,2739	---	---	---	0	100
	45	0,3033	0,2958	0,1861	0,1652	0,0209	7,1	92,9
	2	0,3004	0,2930	0,2581	0,1736	0,0845	28,8	71,2
	123	0,3042	0,2967	0,3789	0,1766	0,2023	68,2	31,8
	143	0,3281	0,3200	0,2458	0,1331	0,1127	35,2	64,8
	37	0,2921	0,2849	0,3283	0,1758	0,1525	52,2	47,8
	19	0,2744	0,2676	0,3933	0,1999	0,1934	72,3	27,7
	52	0,2893	0,2821	0,3873	0,2255	0,1618	57,4	42,6
	41	0,2905	0,2833	0,4446	0,2811	0,1635	57,7	42,3

TABLA II-1. continuación

Todos los pesos en gramos. Cenizas del papel de filtro: 2,48 % del peso seco

situación y profundidad	identificación de la muestra	peso seco original	contenido de celulosa original	peso seco del material recuperado	cenizas del material recuperado	celulosa remanente libre de cenizas	remanente porcentual	descomposición porcentual
clausura de 5 años, profundidad 15 cm	69	0,2993	0,2919	0,2547	0,2159	0,0388	13,3	86,7
	95	0,2831	0,2761	---	---	---	0	100
	7	0,2814	0,2744	0,3605	0,2469	0,1136	41,4	58,6
	108	0,3311	0,3229	0,1670	0,1434	0,0236	7,3	92,7
	65	0,2851	0,2780	0,4395	0,2605	0,1790	62,8	37,2
	46	0,2961	0,2888	0,3674	0,2087	0,1587	55	45
	86	0,3055	0,2979	0,6152	0,3661	0,2491	83,6	16,4
	42	0,2832	0,2762	0,2335	0,1519	0,0816	29,6	70,4
clausura de 3 meses, nivel superficial	58	0,2936	0,2863	0,3585	0,1871	0,1714	59,9	40,1
	9	0,3001	0,2927	0,3346	0,0265	0,3081	100	0
	116	0,3421	0,3336	0,4333	0,1031	0,3302	96,5	3,5
	44	0,2996	0,2922	0,3696	0,0821	0,2875	96	4
	63	0,3045	0,2970	0,3167	0,0382	0,2785	91,5	8,5
	13	0,2964	0,2891	0,2768	0,0243	0,2525	85,2	14,8
	38	0,2896	0,2824	0,2107	0,0582	0,2689	92,9	7,1
	136	0,3221	0,3141	0,3346	0,0265	0,3081	95,7	4,3
	50	0,2831	0,2761	0,3181	0,0423	0,2758	97,4	2,6
	97	0,2947	0,2874	0,3327	0,0562	0,2765	93,8	6,2
	64	0,3005	0,2931	0,2759	0,0113	0,2646	88,1	11,9

Todos los pesos en gramos. Cenizas del papel de filtro: 2,48 % del peso seco

situación y profundidad	identificación de la muestra	peso seco original	contenido de celulosa original	peso seco del material recuperado	cenizas del material recuperado	celulosa remanente libre de cenizas	remanente porcentual	descomposición porcentual
clausura de 3 meses, profundidad 5 cm	122	0,3181	0,3102	0,4402	0,2279	0,2123	66,8	33,2
	54	0,2913	0,2841	0,4852	0,2337	0,2515	86,3	13,7
	36	0,2927	0,2855	0,2070	0,1443	0,0627	21,4	78,6
	142	0,3301	0,3219	0,4275	0,2104	0,2171	65,8	34,2
	128	0,3013	0,2938	0,3453	0,2072	0,1381	45,8	54,2
	40	0,2933	0,2860	0,4913	0,2907	0,2006	68,4	31,6
	104	0,2911	0,2839	0,3771	0,1663	0,2108	72,4	27,6
	84	0,3041	0,2966	0,3384	0,2315	0,1069	35,2	64,8
	75	0,3045	0,2970	0,3442	0,1761	0,1681	55,2	44,8
	83	0,3039	0,2964	0,2848	0,0866	0,1982	65,2	34,8
clausura de 3 meses, profundidad 15 cm	33	0,3053	0,2977	0,3816	0,1289	0,2527	82,8	17,2
	62	0,2997	0,2923	0,5687	0,3065	0,2622	87,5	12,5
	74	0,2985	0,2911	0,3895	0,1899	0,1996	66,9	33,1
	43	0,2992	0,2918	0,4028	0,1189	0,2839	94,9	5,1
	51	0,2928	0,2855	0,4865	0,2120	0,2745	93,8	6,2
	103	0,3321	0,3239	0,5478	0,2761	0,2717	81,8	18,2
	110	0,3262	0,3181	0,5001	0,3201	0,1800	55,2	44,8
	100	0,3331	0,3248	0,0619	0,0382	0,0237	7,1	92,9
	80	0,3054	0,2978	0,3789	0,2007	0,1782	58,4	41,6
	85	0,2962	0,2889	0,3611	0,1200	0,2411	81,4	18,6

Todos los pesos en gramos. Cenizas del papel de filtro: 2,48 %
del peso seco

situación y profundidad	identificación de la muestra	peso seco original	contenido de celulosa original	peso seco del material recuperado	cenizas del material recuperado	celulosa remanente libre de cenizas	remanente porcentual	descomposición porcentual
pastizal pastoreado, nivel superficial	10	0,3003	0,2929	0,2966	0,0199	0,2767	94,5	5,5
	3	0,3003	0,2929	muestra no recuperada				
	105	0,2944	0,2871	0,2732	0,0118	0,2614	91,1	8,9
	133	0,3123	0,3046	muestra mordisqueada por animales				
	14	0,2909	0,2837	muestra no recuperada				
	113	0,3375	0,3291	0,3466	0,0563	0,2903	88,2	11,8
	22	0,2864	0,2793	0,3881	0,1094	0,2787	99,8	0,2
	25	0,2852	0,2781	muestra mordisqueada por animales				
	8	0,3003	0,2929	muestra no recuperada				
pastizal pastoreado, profundidad 5 cm	127	0,3345	0,3262	muestra no recuperada				
	107	0,3251	0,3170	0,3279	0,0294	0,2985	94,2	5,8
	49	0,3058	0,2982	0,3880	0,1408	0,2472	82,9	17,1
	131	0,3176	0,3097	0,5191	0,2654	0,2537	82	18
	126	0,3891	0,3795	0,1846	0,1178	0,0668	17,6	82,4
	96	0,2911	0,2839	0,3002	0,1343	0,1659	58,4	41,6
	149	0,3238	0,3158	0,6065	0,2853	0,3212	100	0
	78	0,3034	0,2959	0,4076	0,1113	0,2963	100	0
	137	0,3222	0,3142	0,4913	0,2752	0,2161	68,8	31,2
	47	0,2939	0,2866	0,1559	0,0756	0,0803	28	72
	138	0,3304	0,3231	0,3838	0,2788	0,1050	32,5	67,5

Todos los pesos en gramos. Cenizas del papel de filtro: 2,48 %
del peso seco

situación y profundidad	identificación de la muestra	peso seco original	contenido de celulosa original	peso seco del material recuperado	cenizas del material recuperado	celulosa remanente libre de cenizas	remanente porcentual	descomposición porcentual
pastizal pastoreado, profundidad 15 cm	5	0,3067	0,2991	0,3809	0,1612	0,2197	73,5	26,5
	12	0,2975	0,2901	0,3423	0,0859	0,2564	88,4	11,6
	101	0,3174	0,3095	0,5140	0,2609	0,2531	81,8	18,2
	73	0,2907	0,2835	0,3668	0,1425	0,2243	77,2	22,8
	125	0,3294	0,3212	0,2540	0,0600	0,1940	60,4	39,6
	112	0,3435	0,3350	0,4385	0,1421	0,2964	88,5	11,5
	77	0,2982	0,2908	0,5626	0,4206	0,1420	48,9	51,1
	99	0,2938	0,2865	0,3685	0,1469	0,2216	77,4	22,6
	114	0,3041	0,2966	0,2584	0,1100	0,1484	50	50
	34	0,2915	0,2843	0,2018	0,1191	0,0827	29,1	70,9

tuaciones. Se deduce de ello que el material celulósico necesita estar en contacto íntimo con el suelo para que la descomposición proceda con cierta rapidez. Además, el crecimiento de la vegetación tiende a alejar a las muestras de la superficie, dificultando aún más la colonización microbiana, principal agente de la degradación de la celulosa. Esto explica que en la clausura antigua (de 5 años) se registre el valor más bajo de descomposición, 2,2 %; la densidad de plantas en ella es la mayor de las tres áreas.

No hay diferencia significativa entre los valores correspondientes a las profundidades de 5 y 15 cm, a pesar de lo cual cabe señalar que los datos de la clausura reciente indican una tendencia en ese sentido, lo que concuerda con la información bibliográfica consultada, que indica que en general se da una mayor descomposición en los primeros centímetros del suelo que a mayor profundidad.

La descomposición es significativamente mayor en la clausura de 5 años con respecto al pastizal pastoreado, tanto a 5 cm como a 15 cm. Esto puede explicarse teniendo en cuenta que las condiciones para el desarrollo microbiano son más favorables en el área clausurada. En los sistemas privados de herbívoros, la energía se deriva hacia cadenas de desintegradores; en la clausura, la biomasa vegetal no es consumida mientras está viva y cae posteriormente al suelo, excepto la fracción que pueda ser ingerida por hormigas y otros pequeños consumidores primarios. Este mayor aporte de materia orgánica, prolongado por mucho tiempo, mejora la estructura del suelo, lo que se traduce en una mayor capacidad de retención de agua y aireación incrementada, factores que favorecen la actividad celulolítica de los microorganismos. Estos son principalmente aerobios, aunque se conocen numerosas especies del género *Clostridium* que son celulolíticas (anaerobias). Al mismo tiempo, el aporte continuo y abundante de materia orgánica permite el mantenimiento de una amplia y diversificada dotación de descomponedores.

En la clausura reciente (de 3 meses) se advierte, a la profundidad de 5 cm, una mayor descomposición con respecto al pastizal pastoreado, pero que no resulta estadísticamente significativa. A pesar de ello, es de hacer notar la tendencia que se manifiesta en el sentido de separarse del pastizal pastoreado y aproximarse al porcentaje de descomposición de la clausura antigua (figura II-2). Esto sugiere que, al ser cerrada un área al pastoreo, rápidamente inicia un proceso de evolución hacia la situación de la clausura de 5 años, que puede suponerse más próxima al estado de equilibrio; no totalmente, porque una parte de este ecosistema completamente desprovista de grandes herbívoros tampoco puede caracterizarse como clímax, pero no hay duda que se aproxima más a éste que el pastizal pastoreado con alta carga animal, o sea mantenido por acción del hombre en una etapa más temprana. Una derivación interesante de estas observaciones puede aplicarse a la valoración de una de las modernas alternativas posible para el mejor manejo productivo de la zona, el pasto-

reo rotativo intensivo, que consiste en aplicar una alta carga ganadera instantánea en una superficie muy reducida y dejarla en reposo por un período prolongado, de 30 a 40 días. La rápida evolución que muestra la clausura de 3 meses, luego de tan breve lapso de retiro del pastoreo, apoyaría los argumentos en favor del sistema mencionado.

Los porcentajes de descomposición en la clausura antigua a 5 y a 15 cm son casi idénticos y una situación similar se observa en el pastizal pastoreado. Una diferencia mayor se aprecia en la clausura reciente entre los mismos niveles, aunque no alcance significación estadística. Puede ensayarse una explicación plausible de este hecho analizando la distribución del efecto de la interrupción del pastoreo en el perfil del suelo; el mayor aporte de materia orgánica que acarrea un mejoramiento de la estructura y por consiguiente un aumento de la retención de humedad y de aireación, ya señalados, no se manifiestan al mismo tiempo en todo el perfil, sino que los primeros centímetros lo acusan más rápidamente, lo cual explicaría la mayor actividad descomponedora observada al nivel de 5 cm. En la clausura antigua, tales efectos han tenido oportunidad de extenderse más abajo en el suelo, abarcando el nivel de los 15 cm; en el pastizal pastoreado, no se han producido tales modificaciones a ninguna profundidad, lo que daría razón de que en estas dos últimas situaciones no se detecten diferencias entre las muestras colocadas a 5 y a 15 cm.

Otro factor debe ser tenido en cuenta: la dotación de raíces jóvenes registra un máximo en el mes de abril en el pastizal en estudio*. La interrupción del pastoreo permite un desarrollo de las partes aéreas de los pastos, lo cual se traduce en una expansión de la biomasa de las raíces así como de la actividad de las mismas, de la cual cabe destacar una mayor producción de exudados hacia la rizosfera. En definitiva, una mayor actividad radical favorece la vida de los microorganismos, lo cual nuevamente ocurre primero en los niveles más superficiales, de lo que se sigue el mismo razonamiento ya expuesto sobre el efecto de esto en la clausura reciente, la antigua y el pastizal pastoreado.

* Alippe, H., comunicación personal.

descomposición
porcentual

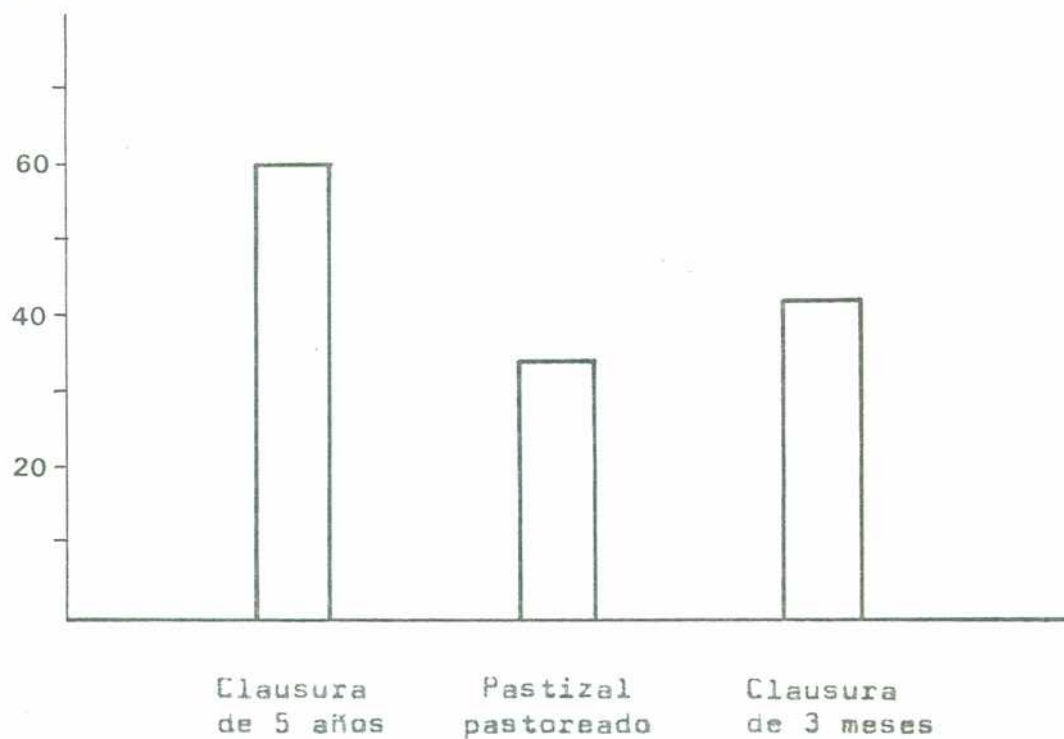


Figura II- . Descomposición porcentual de la celulosa a 5 cm de profundidad.

TABLA II.2. Tratamiento estadístico de los datos

1. Comparación entre la clausura de 5 años y el pastizal pastoreado a la profundidad de 5 cm

Comparación de las varianzas (Fisher, Snédécór)

$$H_0 : \sigma_c^2 = \sigma_p^2 ; H_1 : \sigma_c^2 \neq \sigma_p^2$$

c : clausura
p : pastizal pastoreado

$$F = s_c^2 / s_p^2 = 1,45$$

$$F_{(9;9)}(0,95) = 3,18 > 1,45$$

Se acepta la homogeneidad de las varianzas

Comparación de las medias (test de "t")

$$H_0 : \mu_c = \mu_p ; H_1 : \mu_c \neq \mu_p$$

$$t = 2,49$$

$$t_{(18)}(0,95) = 2,10 < 2,49$$

La diferencia entre las medias es significativa

2. Comparación entre la clausura de 3 meses y el pastizal pastoreado a la profundidad de 5 cm

Comparación de las varianzas (Fisher, Snédécór)

$$H_0 : \sigma_c^2 = \sigma_p^2 ; H_1 : \sigma_c^2 \neq \sigma_p^2$$

$$F = 2,59$$

$$F_{(9;9)}(0,95) = 5,35 > 2,59$$

Se acepta la homogeneidad de las varianzas

Comparación de las medias (test de "t")

$$H_0 : \mu_c = \mu_p ; H_1 : \mu_c \neq \mu_p$$

$$t = 0,70$$

TABLA II.2. continuación

$$t_{(18)}(0,95) = 2,10 > 0,70$$

La diferencia no es significativa

3. Comparación entre la clausura de 5 años y el pastizal
pastoreado a la profundidad de 15 cm

Comparación de las varianzas (Fisher, Snédécor)

$$H_0 : \sigma_c^2 = \sigma_p^2 ; H_1 : \sigma_c^2 \neq \sigma_p^2$$

$$F = 2,11$$

$$F_{(9;8)}(0,95) = 3,23 > 2,11$$

Se acepta la homogeneidad de las varianzas

Comparación de las medias (test de "t")

$$H_0 : \mu_c = \mu_p ; H_1 : \mu_c \neq \mu_p$$

$$t = 2,54$$

$$t_{(17)}(0,95) = 2,11 < 2,54$$

La diferencia entre las medias es significativa

En las comparaciones que siguen, 4. , 5. y 6. , se usa
t', que tiene una distribución aproximada a la t de
Student, dado que las varianzas no son homogéneas (ver*)

4. Comparación entre los niveles superficial y de 5 cm
en la clausura de 5 años

$$H_0 : \mu_0 = \mu_5 ; H_1 : \mu_0 \neq \mu_5$$

0 : nivel superficial

$$t = 7,07$$

$$t_{(7)}(0,95) = 2,36 < 7,07$$

La diferencia es significativa

TABLA II.2. continuación

<p>5. Comparación entre los niveles superficial y de 5 cm en la clausura de 3 meses</p> $H_0 : \mu_0 = \mu_5 ; H_1 : \mu_0 \neq \mu_5$ $t = 5,68$ $t_{(8)}(0,95) = 2,31 < 5,68$ <p>La diferencia entre las medias es significativa</p>
<p>6. Comparación entre los niveles superficial y de 5 cm en el pastizal pastoreado</p> $H_0 : \mu_0 = \mu_5 ; H_1 : \mu_0 \neq \mu_5$ $t = 2,68$ $t_{(8)}(0,95) = 2,31 < 2,68$ <p>La diferencia entre medias es significativa</p>
<p>7. Comparación entre los niveles de 5 cm y 15 cm en la clausura de 3 meses</p> $H_0 : \mu_5 = \mu_{15} ; H_1 : \mu_5 \neq \mu_{15}$ $t = 1,23$ $t_{(18)}(0,95) = 2,10 > 1,23$ <p>La diferencia entre las medias no es significativa</p>
<p>* En los casos 4., 5. y 6. las varianzas no son homogéneas:</p> $4. F = 50,7 > F_{(9;8)}(0,95) = 3,39$ $5. F = 18,4 > F_{(9;9)}(0,95) = 3,18$

TABLA II-2. continuación

$$6. F = 38,5 > F_{(9;3)(0,95)} = 8,81$$

Por lo tanto se utiliza la variable t' en las comparaciones entre medias, que se define de la siguiente forma:

$$\frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} = t'$$

con v grados de libertad, según

$$v = \frac{\left[\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2} \right]^2}{\frac{\left[s_1^2 / n_1 \right]^2}{n_1 - 1} + \frac{\left[s_2^2 / n_2 \right]^2}{n_2 - 1}} - 2$$

II.3. ENSAYOS DE DESCOMPOSICION DE CELULOSA

Fueron realizadas experiencias teniendo en consideración como factores en estudio la situación de clausura al pastoreo, la profundidad de colocación de las muestras en el suelo y el tiempo de permanencia en éste. Para evaluar esta variable, todas las muestras fueron enterradas al comienzo del experimento y retiradas en forma escalonada.

II.3.1. Métodos

El material celulósico utilizado fue tela de algodón. El lugar elegido para las experiencias fue el establecimiento Las Chilcas, del partido de Pila, ubicándose las muestras en las mismas áreas del ensayo preliminar (cf. II.2.1.), es decir, una superficie cerrada durante 5 años al pastoreo ("clausura antigua"), otra que en la oportunidad de estos ensayos ya contaba con una edad de 6 meses ("clausura reciente") y el pastizal pastoreado, sometido a las prácticas habituales de la zona: alta carga de vacunos de cría. Ya fue mencionada la descripción fisiográfica y edafológica de la unidad ecológica en la que se encuentran las tres áreas (cf. II.1.2.).

El tratamiento de las muestras y la determinación en el laboratorio de la descomposición operada fueron realizados en general de la manera ya descripta (cf. II.2.1.), pero con algunas particularidades debido a la naturaleza del material celulósico empleado. La tela de algodón, sin teñir, fue cortada en tiras de 2,5 x 15 cm, las que fueron hervidas en agua destilada tres veces durante 10 minutos, renovándose el líquido, con objeto de remover el apresto. Se las dejó secarse al aire durante 24 horas; luego fueron puestas en estufa a 70 °C durante 1 hora, pesadas, identificadas con un número escrito con tinta no soluble en agua y luego sumergidas en una solución de NaNO_3 al 11%, dejándose percolar el exceso de líquido de las tiras por gravedad. Nuevamente fueron secadas al aire durante 24 horas. Fueron confeccionados sobre rectangulares de malla de polietileno, de 1,5 mm de abertura; las muestras fueron armadas incluyendo cada tira dentro de un sobre, sellándose los bordes por medio de un soldador eléctrico, quedando cada uno identificado por un labelo metálico numerado, que coincidía con la numeración de las tiras. Este procedimiento de doble numeración se reveló muy útil para evitar errores en el procesamiento de las muestras, el cual resulta relativamente engorroso. Las muestras fueron colocadas en el suelo, permaneciendo en él un determinado tiempo, pasado el cual fueron retiradas. En laboratorio fueron lavadas con agua corriente, con objeto de eliminar la mayor cantidad posible de material del suelo adherido; los restos de las tiras fueron extraídos de los sobres, colocados en crisoles pequeños, secados a 70 °C y pesados; luego fueron calcinados a 550 °C durante 1 hora y pesadas las cenizas resultantes.

Una cantidad de tela de algodón fue calcinada a 550 °C durante 1 hora con objeto de determinar su contenido de cenizas, el cual fue expresado como porcentaje del peso seco de la tela (a 70 °C). La determinación de la descomposición operada fue realizada del mismo modo ya descrito en II.2.1.: al peso seco de cada tira se sustrajo su fracción de cenizas, lo cual da el contenido de celulosa original. Al peso seco de los restos recuperados se le resta su cantidad de cenizas, lo cual da el peso de la celulosa remanente; dividiendo este valor por el contenido de celulosa original, se obtiene el remanente porcentual, y su diferencia a 100 da el porcentaje de descomposición sufrido.

El NO_3Na , cuyo contenido de nitrógeno es del 16,5 %, fue adicionado por medio de la solución de la concentración indicada, con objeto de lograr en las tiras una proporción de C/N de 21 : 1 (Paul, 1974), lo cual asegura que el suministro de este último elemento no se constituya en un factor limitante para la descomposición de celulosa (cf. II.2.1.).

Las muestras fueron colocadas en el suelo en dos profundidades: a 15 cm y a nivel superficial, pero cubiertas por una delgada capa de tierra. En cada una de las tres situaciones mencionadas, clausura antigua, reciente y pastizal pastoreado, se colocaron muestras a las dos profundidades indicadas, en número suficiente para permitir retiros escalonados cada 3 semanas, previéndose 3 repeticiones por cada combinación de situación, profundidad y tiempo de permanencia. Todas las muestras fueron colocadas al mismo tiempo, el 25 de julio de 1977 y retiradas en las fechas que se indican a continuación; los intervalos de 3 semanas entre las recuperaciones se cumplieron sólo aproximadamente, debido a que el acceso a campo donde se hicieron los ensayos dependía en gran medida del estado de los caminos por las lluvias.

fecha de recuperación	tiempo de permanencia
15-8-77	3 semanas
8-9-77	6 semanas
4-10-77	10 semanas
10-11-77	15 semanas
1-12-77	18 semanas

El nivel estrictamente superficial del ensayo preliminar fue descartado en estas experiencias. El lugar de colocación de las muestras fue referenciado por relaciones con objetos del terreno, tales como postes de alambrado, evitándose la señalización con estacas u otros elementos que pudieran atraer la curiosidad de los animales, lo que perturbaría el sitio de enterramiento por pisoteo y compactación del suelo. El número de repeticiones se redujo de 10 a 3, considerándose de acuerdo con los datos bibliográficos que éste es el mínimo con el que se puede trabajar si se desean reali-

zar comparaciones estadísticas (31). Los sobres fueron dejados horizontalmente, tal como se hizo en el ensayo preliminar (cf. II.2.1.).

En el momento de colocación de las muestras y coincidiendo con el último retiro, fueron efectuadas recolecciones de broza, por medio de un marco de alambre de 31 x 31 cm, el cual era arrojado al azar, recogiendo todo el mantillo incluido en él, teniendo la precaución de excluir el material vegetal muerto en pie. Se hicieron 4 repeticiones por cada situación; luego, en laboratorio, la broza fue secada a 70 °C, pesada, calcinada a 550 °C durante 1 hora y pesadas las cenizas, obteniéndose de esta manera el peso seco libre de cenizas del material recogido. Estos datos son utilizados más adelante (cf. II.5.).

II.3.2. Descomposición de celulosa en la clausura de 5 años a nivel superficial

Al retirarse las muestras en forma escalonada del suelo, los datos que se obtienen reflejan la descomposición acumulativa de celulosa en función de los tiempos de permanencia.

Los datos unitarios se exponen en la tabla II-3, indicándose los valores medios de descomposición y remanente porcentual para cada tiempo de permanencia, resultado de promediar 3 valores, en la tabla II-4.

TABLA II-4	tiempo de permanencia, semanas	remanente porcentual	descomposición porcentual
	3	80,9	19,1
	6	74,8	25,2
	10	54,5	45,5
	15	50,2	49,8
	18	44,9	55,1

Se observa un incremento progresivo de la descomposición de celulosa con el tiempo de permanencia de las muestras en el suelo. Graficando estos valores en la figura II-3, puede apreciarse que dicho incremento se produce de una manera regular.

Los datos unitarios de celulosa remanente porcentual se han representado en la figura II-4, trazándose la línea quebrada por las me-

TABLA II-3. Datos unitarios de descomposición de celulosa

Todos los pesos en gramos. Cenizas del material original: 1,66 % del peso seco

situación y profundi- dad	tiempo (sem.)	identificación de la muestra	peso seco original	contenido de celulosa original	peso seco del material recuperado	cenizas del material recuperado	celulosa remanente libre de cenizas	remanente porcentual	descomposición porcentual
clausura de 5 años	3	8	0,3570	0,3511	0,3119	0,0154	0,2965	84,5	15,5
	3	34	0,3710	0,3648	0,2998	0,0176	0,2822	77,4	22,6
	3	59	0,3222	0,3168	0,2713	0,0152	0,2561	80,8	19,2
	6	13	0,3549	0,3490	0,3128	0,0152	0,2976	85,3	14,7
	6	84	0,3420	0,3363	0,2717	0,0341	0,2376	70,7	29,3
nivel	6	48	0,4045	0,3978	0,3566	0,0845	0,2721	68,4	31,6
	10	101	0,4070	0,4002	1,1185	0,9363	0,1822	45,5	54,5
	10	65	0,3785	0,3722	0,5270	0,3409	0,1861	50,0	50,0
	10	26	0,3445	0,3388	0,2569	0,0265	0,2304	68,0	32,0
	15	105	0,3565	0,3506	1,0486	0,8961	0,1525	43,5	56,5
superfi- cial	15	47	0,3260	0,3206	1,1467	0,9502	0,1965	61,3	38,7
	15	6	0,3745	0,3683	0,2031	0,0344	0,1687	45,8	54,2
	18	46	0,3984	0,3917	-muestra no recuperada -				-----
	18	140	0,3540	0,3481	0,6002	0,4587	0,1415	40,7	59,3
	18	96	0,3803	0,3740	0,3892	0,2056	0,1836	49,1	50,9

días de los valores correspondientes a cada tiempo de permanencia, lo que permite apreciar la dispersión de los datos.

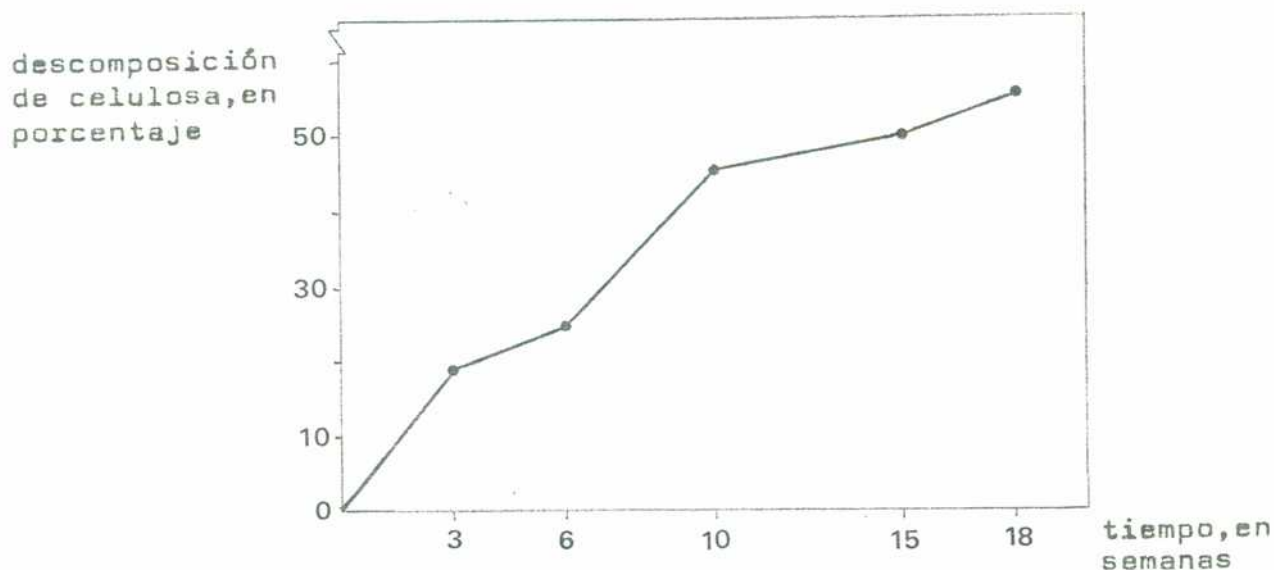


Figura II-3. Descomposición acumulativa de celulosa

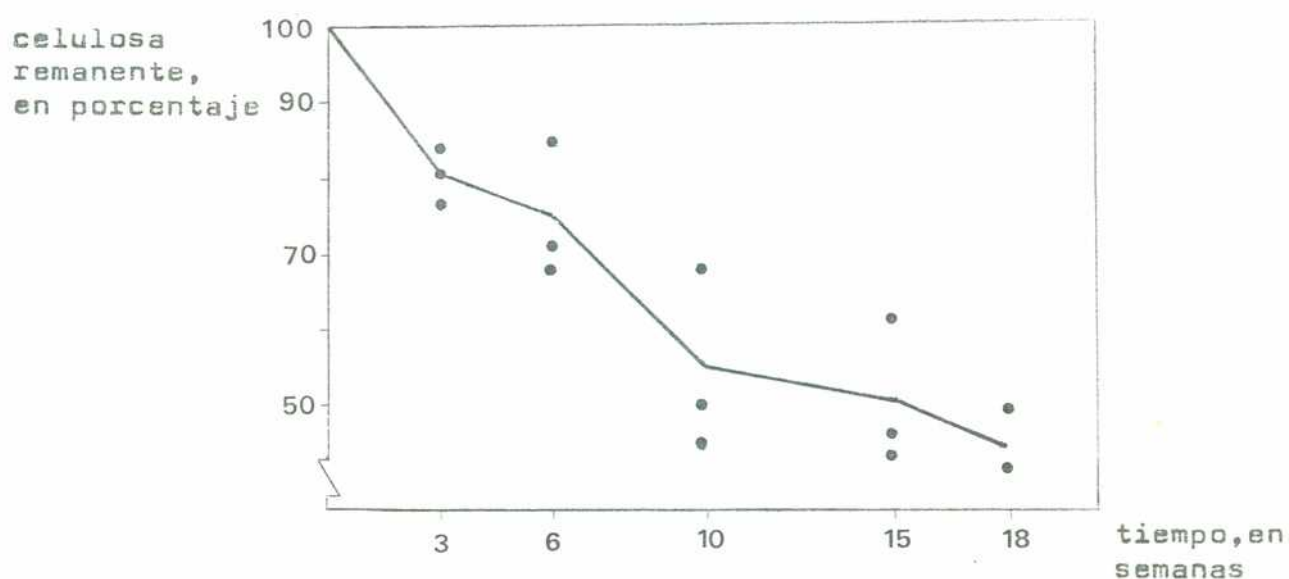


Figura II-4. Celulosa remanente porcentual, datos unitarios

Puede observarse en ella el decaimiento regular de la celulosa en el tiempo. Para describir este proceso, es posible utilizar expresiones matemáticas basadas en los mecanismos de las reacciones de primer orden (Paul, 1974). La siguiente ecuación expresa el decrecimiento exponencial

$$r = r_0 e^{-kt} \quad (1)$$

donde r_0 es la cantidad de material original, r es el remanente y k una constante. En este caso en que se trabaja con porcentajes, r_0 es igual a 100 y r es el remanente porcentual de celulosa. La ecuación puede ser escrita en forma logarítmica

$$\ln r = \ln r_0 - kt \quad (2)$$

expresión que se representa por una recta en papel semilogarítmico. Esta recta puede ser determinada como la línea de regresión³ de primera clase de $\ln r$ sobre t^* en este caso, utilizándose todos los datos unitarios de celulosa remanente porcentual. De manera que se calculan los parámetros a y b de la línea de regresión $y = a - bx$, siendo a equivalente a $\ln r_0$ y b a k , representando estos últimos además la pendiente de la recta. Esta se ha graficado en la figura II-5; los cálculos se consignan en la tabla II-5.

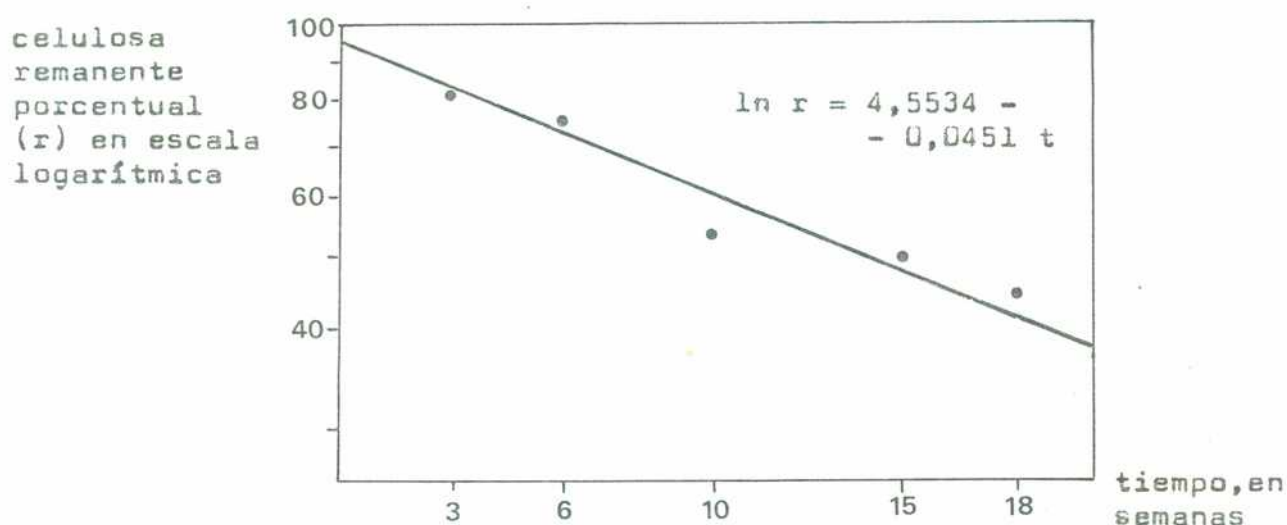


Figura II-5. Regresión de celulosa remanente porcentual (\ln) sobre el tiempo (en semanas). Se han representado los valores medios experimentales de remanente porcentual de la tabla II-4.

De la observación de la figura II-5 se concluye que k es un parámetro adecuado para describir el decaimiento de la celulosa en el suelo, dado que el ajuste de la línea de regresión a los datos experimentales es aceptablemente bueno. El significado de k es el de una tasa intrínseca o constante de descomposición, estando siempre relacionada con la unidad que se utilice para el tiempo. Habiendo sido k y r_0 determinados por regresión lineal, no necesariamente el valor de este último parámetro resultará igual a 100 %, siendo de 94,9 % en este caso.

Contando con k y r_0 , pueden calcularse los valores estimados de $r = r_0 e^{-kt}$ (tabla II-5); la función se ha graficado en la figura * Por medio de la transformación logarítmica se convierte la regresión no lineal en lineal, que resulta más sencilla de calcular. (18)

II.6, donde se representan también los valores medios experimentales de celulosa remanente. Como puede observarse en ella,

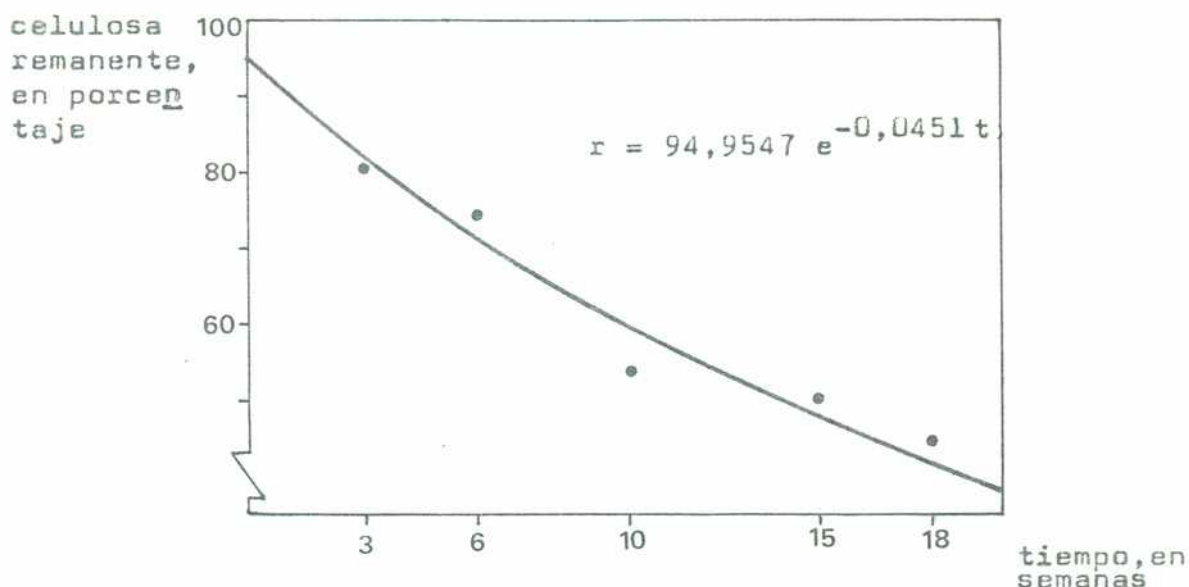


Figura II-6. Celulosa remanente porcentual en función del tiempo de permanencia en semanas. Los puntos corresponden a los valores medios experimentales de remanente porcentual.

la degradación de la celulosa en el suelo se ajusta bastante bien al tipo de curvas que expresan el decaimiento de una sustancia en una reacción de primer orden.

Si la descomposición, atendiendo al material remanente, que da bien reflejada por una función exponencial decreciente, el porcentaje de descomposición operado podrá ser expresado por medio de una exponencial creciente. Definiendo una nueva función, $d = f(t)$, siendo d la descomposición porcentual, cumpliéndose además la expresión obvia $r + d = 100$, se puede escribir

$$d = 100 - r$$

y, por (1)

$$d = 100 - r_0 e^{-kt} \quad (3)$$

Esta expresión permite calcular la descomposición porcentual estimada para un determinado tiempo de permanencia. Para $t = 0$, la descomposición debería ser igual a cero; pero, si se parte de datos experimentales, r_0 puede ser distinto del 100 % y por lo tanto el porcentaje de descomposición estimado al momento inicial puede resultar distinto de cero. Esta situación se presenta en este caso (tabla II-5). La función se ha representado en la figura II-7, junto con los valores medios experimentales de descomposición porcentual de la tabla II-4.

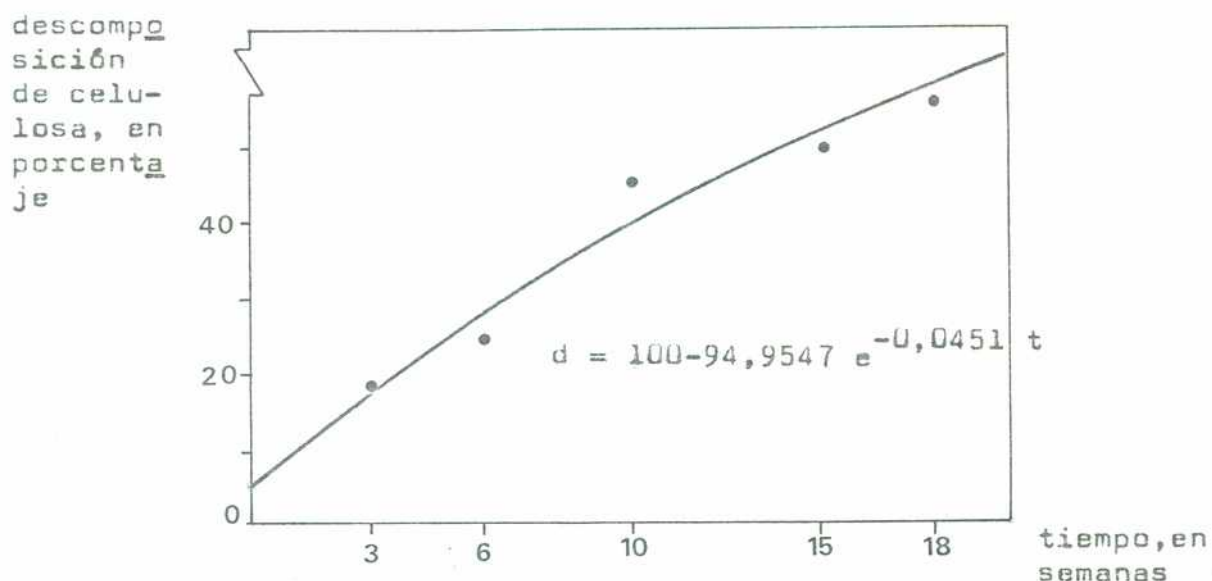


Figura II-7. Descomposición porcentual de la celulosa en función del tiempo de permanencia. Se han representado con puntos los valores medios experimentales de descomposición porcentual.

El proceso de descomposición de la celulosa opera con una determinada velocidad, la cual, como se desprende de la observación de las figuras II-6 y II-7, no es constante. Una expresión que describa la relación entre la velocidad de descomposición y el tiempo de permanencia en el suelo, puede obtenerse a partir de la ecuación (2)

$$\ln r = \ln r_0 - kt$$

diferenciando, se obtiene $\frac{1}{r} = -k dt$

y reordenando $\frac{dr}{dt} = -k r$

El primer miembro de la ecuación expresa la variación de la celulosa remanente en relación con el tiempo, o sea la rapidez con que la celulosa desaparece, siendo por lo tanto la velocidad de descomposición. Por lo tanto, se puede escribir

$$v = -kr \quad (4)$$

Los valores estimados de esta función aparecen en la tabla II-6, graficándose ésta en la figura II-8. Los valores de r utilizados para calcular la velocidad son los estimados para cada tiempo de permanencia a partir de la ecuación (1) (tabla II-5; $v = -k r_0 e^{-kt}$).

t, sem.	0	3	6	10	15	18
$v = -kr$	-4,28	-3,74	-3,27	-2,73	-2,18	-1,90

Tabla II-6. Velocidad de descomposición de celulosa en función del tiempo (en semanas).

velocidad

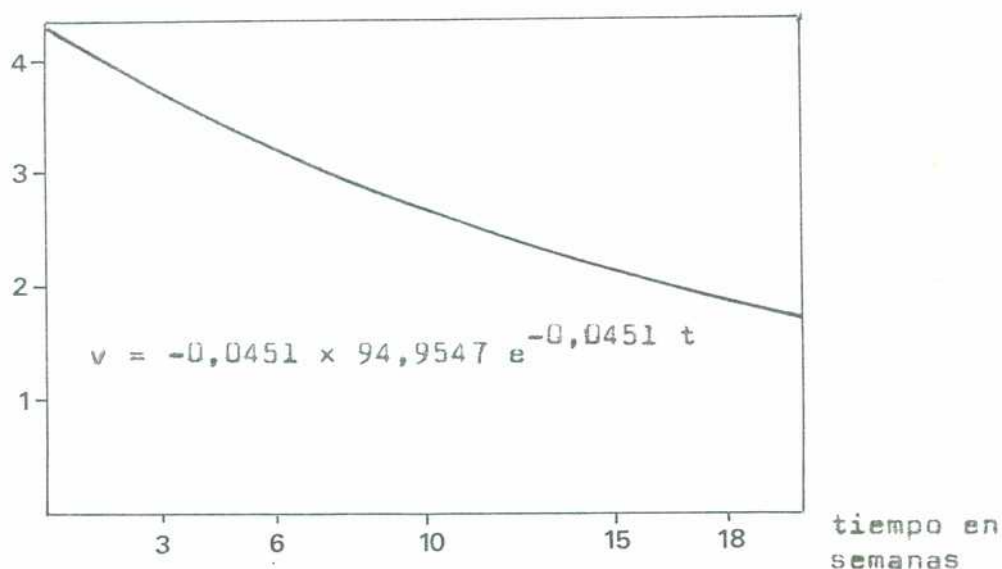


Figura II-8. Velocidad de descomposición de la celulosa, en unidades de porcentaje, en función del tiempo, en semanas

Del mismo modo que en el caso de la descomposición de una sustancia radioactiva puede calcularse el tiempo que demanda la reducción del material original a la mitad, dato útil para establecer comparaciones, en este ensayo puede determinarse la vida media o semiperíodo de las muestras. A partir de la ecuación (1), reordenando, se obtiene (Paul, 1974)

$$\frac{r}{r_0} = e^{-kt}$$

Cuando el remanente se hace igual a la mitad del material original, r/r_0 resulta igual a $\frac{1}{2}$. Por lo tanto, aplicando logaritmos naturales a ambos miembros, resulta

$$\begin{aligned} \ln 0,5 &= -kt_{\frac{1}{2}} \\ t_{\frac{1}{2}} &= 0,69315 / k \end{aligned} \quad (5)$$

En este caso, $t_{\frac{1}{2}} = 15,4$ semanas, es decir, este tiempo es el necesario para que se produzca el 50 % de la descomposición. Obviamente, en el doble de este tiempo no se produce la reducción total del material original. Por ejemplo, según este modelo la degradación de la muestra al 1 % de su contenido inicial de celulosa demandará 101 semanas (1,9 años).

TABLA II.5 . Valores estimados de celulosa remanente porcentual (r), descomposición porcentual (d) y velocidad de descomposición (v). Cálculo de los parámetros de regresión.

tiempo de permanencia en semanas	r	ln r	d	v
0	94,9	4,55	5,0	-4,28
3	82,9		17,1	- 3,74
6	72,4		27,6	-3,27
10	60,5		39,5	-2,73
15	48,3		51,7	-2,18
18	42,2	3,74	57,8	-1,90

Parámetros de regresión:

$$B = \frac{18 \sum t \ln r - \sum t \sum \ln r}{18 \sum t^2 - (\sum t)^2} = -0,0451$$

$$A = \frac{1}{18} (\sum \ln r - B \sum t) = 4,5534$$

II.3.3. Descomposición de celulosa en la clausura de 6 meses a nivel superficial

Los datos unitarios se han ordenado en la tabla II-6 ; los valores medios de descomposición y remanente porcentual se exponen en la tabla II-7 . Los primeros se han representado en la figura II- 9; los segundos en la figura II-10, mostrando la dispersión de los datos.

TABLA II- 7.

tiempo de permanencia, semanas	celulosa remanente porcentual	descomposición porcentual
3	86,4	13,6
6	75,2	24,8
10	73,1	26,9
15	55,2	44,8
18	60,4	39,6

Efectuando la transformación logarítmica de los datos unitarios, se calculó la recta de regresión de $\ln r$ sobre t^* (tiempo de permanencia)(ecuación 2, cf. II.3.2). Esta se grafica en la figura II-11. Habiéndose obtenido el parámetro k , se calcularon los valores estimados de celulosa remanente porcentual por medio de la ecuación (1) (cf. II.3.2), y los de descomposición porcentual mediante la ecuación (3)(cf. II.3.2.). Ambos grupos de valores se reúnen en la tabla II- 8, representándose los primeros en la figura II-12 y los segundos en la figura II-13. Asimismo, se han calculado los valores estimados de velocidad de descomposición, que se presentan en la tabla II- 8 y se grafican en la figura II-14.

El tiempo de vida media de las muestras, calculado de acuerdo con la ecuación (4)(cf. II.3.2.), resulta igual a 22,9 semanas.

*Cálculos en la tabla II- 8.

TABLA II.6. Datos unitarios de descomposición de celulosa

Todos los pesos en gramos. Cenizas del material original: 1,66% del peso seco

situación y profundi- dad	tiempo (sem.)	identificación de la muestra	peso seco original	contenido de celulosa original	peso seco del material recuperado	cenizas del material recuperado	celulosa remanente libre de cenizas	remanente porcentual	descomposición porcentual
clausura de 6 meses nivel superfi- cial	3	90	0,3877	0,3812	0,3713	0,0251	0,3462	90,8	9,2
	3	102	0,3979	0,3913	0,3466	0,0164	0,3302	84,4	15,6
	3	72	0,3561	0,3502	0,4177	0,1235	0,2942	84,0	16,0
	6	78	0,3548	0,3489	0,3755	0,0936	0,2819	80,8	19,2
	6	41	0,3672	0,3611	0,2979	0,0137	0,2842	78,7	21,3
	6	10	0,3887	0,3822	0,3529	0,1003	0,2526	66,1	33,9
	10	115	0,4069	0,4001	0,3766	0,1045	0,2721	68,0	32,0
	10	81	0,3971	0,3905	0,3222	0,0731	0,2491	63,8	36,2
	10	52	0,3765	0,3702	0,3668	0,0429	0,3239	87,5	12,5
	15	87	0,3620	0,3560	0,2640	0,0864	0,1776	49,9	50,1
	15	73	0,3954	0,3888	0,2254	0,0279	0,1975	50,8	49,2
	15	5	0,3505	0,3446	0,2780	0,0544	0,2236	64,9	35,1
	18	32	0,3836	0,3772	0,3029	0,0698	0,2331	61,8	38,2
	18	38	0,3874	0,3809	0,2417	0,0288	0,2129	55,9	44,1
	18	61	0,3967	0,3901	0,3276	0,0799	0,2477	63,5	36,5

TABLA II-8 . Valores estimados de celulosa remanente porcentual (r), descomposición porcentual (d) y velocidad de descomposición (v). Cálculo de los parámetros de la recta de regresión

tiempo de permanencia	r	ln r	d	v
0 sem.	95,2	4,56	4,8	-2,88
3	87,0		13,0	-2,63
6	79,4		20,6	-2,40
10	70,4		29,6	-2,13
15	60,5		39,5	-1,83
18	55,3	4,01	44,7	-1,67

Parámetros de la recta de regresión:

$$B = \frac{18 \sum t \ln r - \sum t \sum \ln r}{18 \sum t^2 - (\sum t)^2} = -0,0302$$

$$A = \frac{1}{18} (\sum \ln r - B \sum t) = 4,5562$$

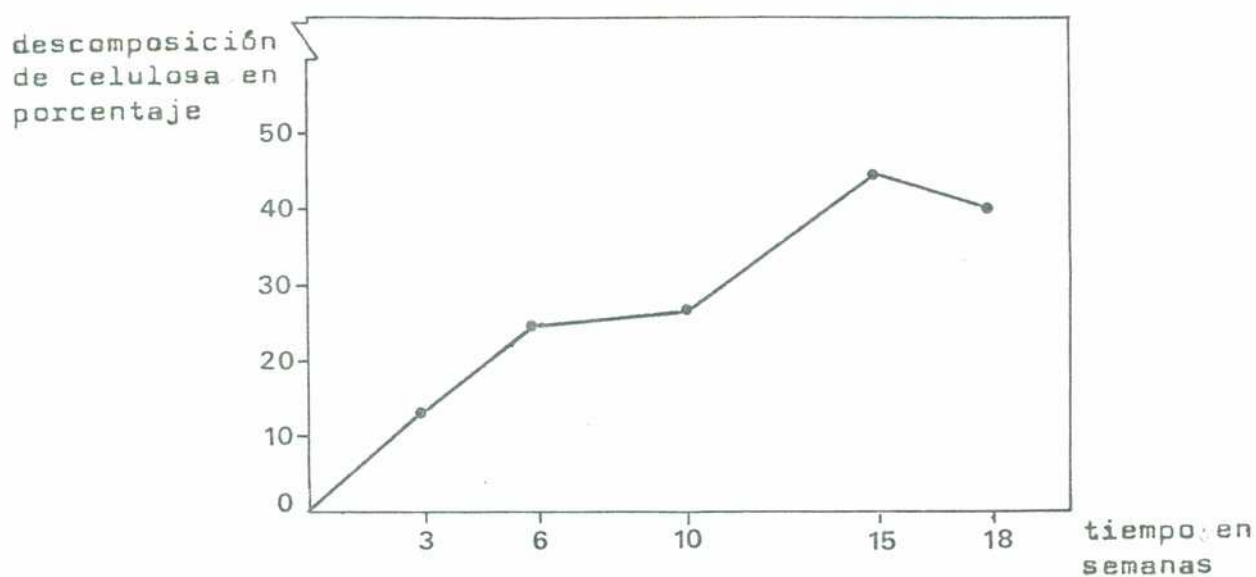


Figura II- 9. Descomposición acumulativa de celulosa. Cada punto representa el valor medio de 3 datos unitarios.

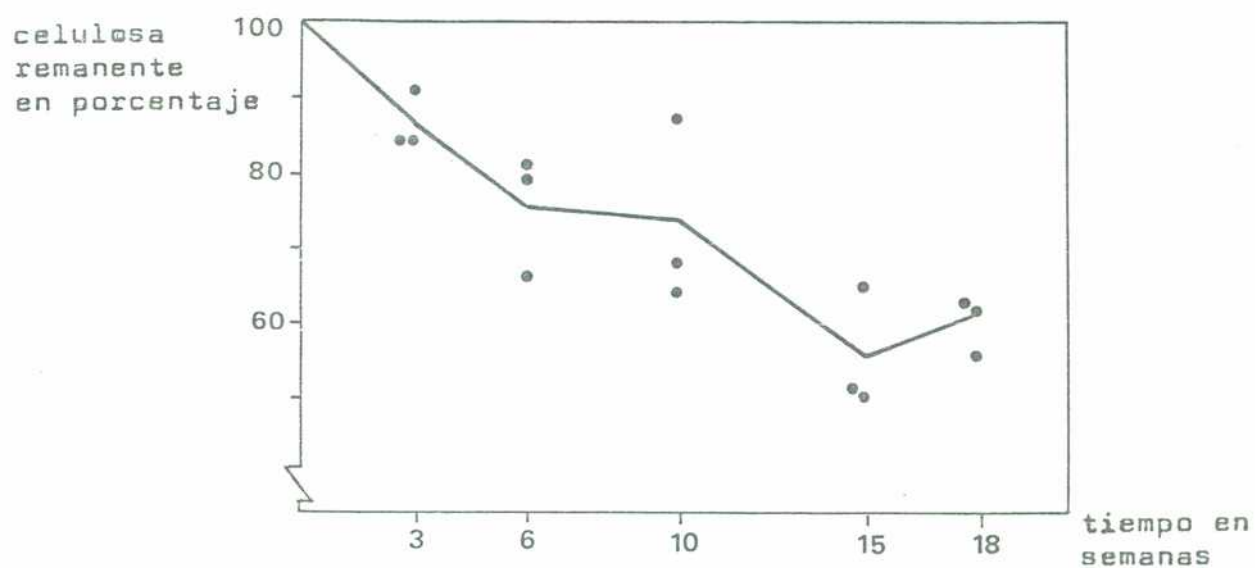


Figura II-10. Celulosa remanente porcentual. Cada punto representa un dato unitario. La línea quebrada pasa por los valores medios.

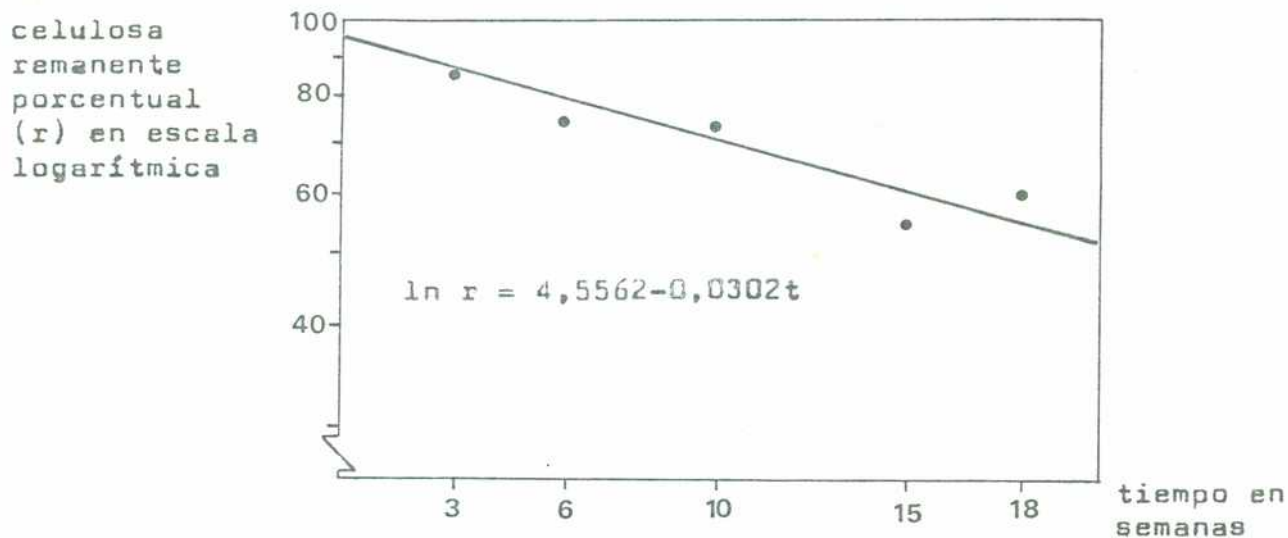


Figura II-11. Regresión de remanente porcentual de celulosa (\ln) sobre el tiempo de permanencia (semanas). Se han representado por puntos los valores medios experimentales de celulosa remanente porcentual.

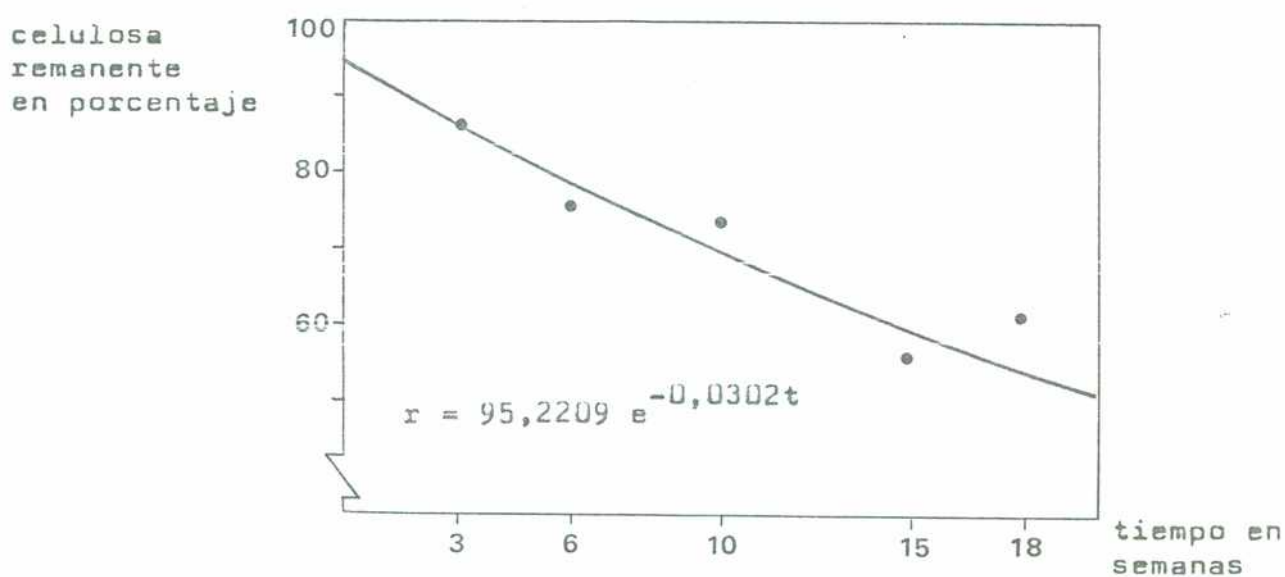


Figura II-12. Celulosa remanente porcentual en función del tiempo de permanencia en semanas. Los puntos representan los valores medios experimentales de celulosa remanente porcentual.

descomposición
de celulosa
en porcentaje

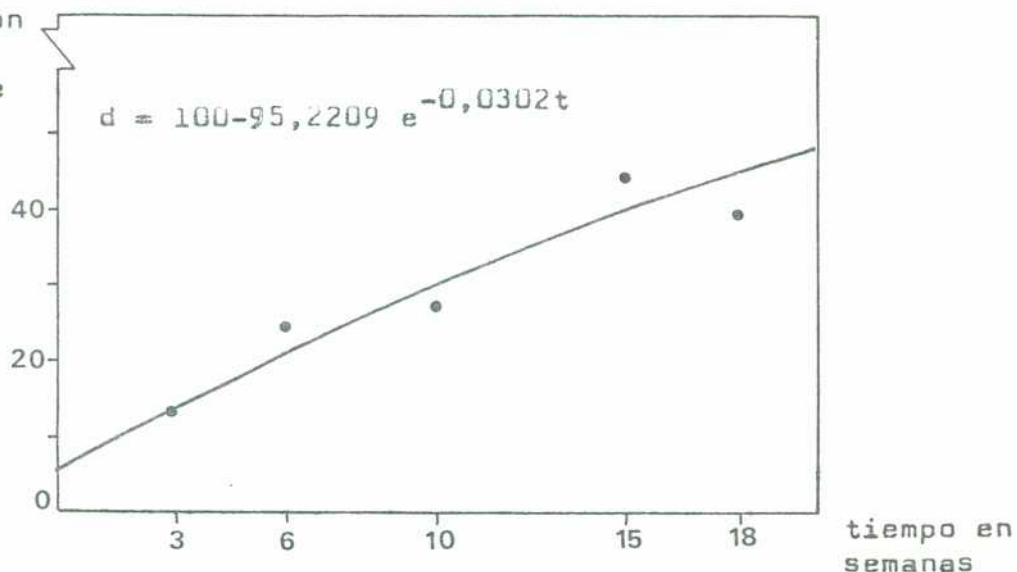


Figura II-13. Descomposición porcentual de la celulosa en función del tiempo de permanencia. Los puntos representan los valores medios experimentales de descomposición porcentual.

velocidad

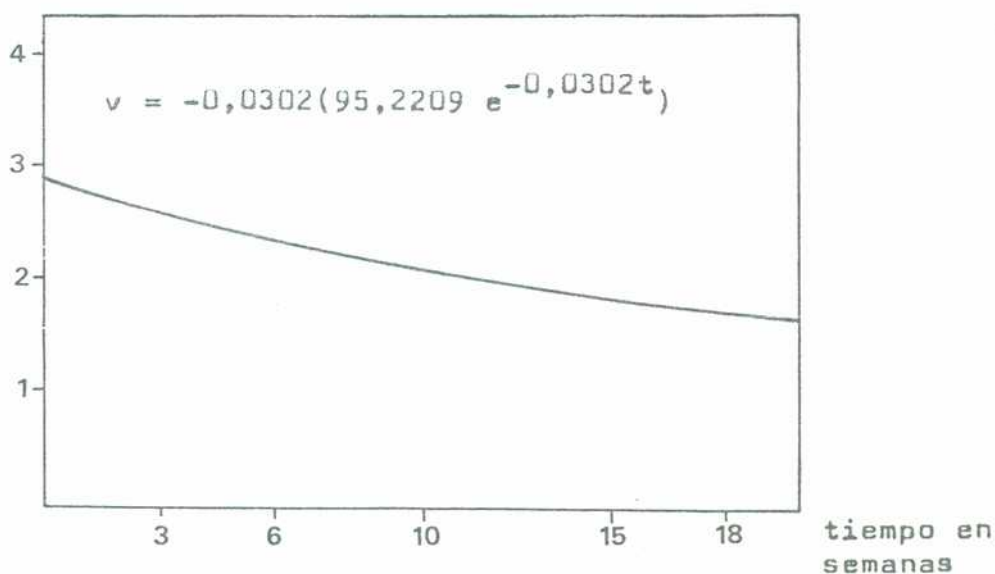


Figura II-14. Velocidad de descomposición de la celulosa, en unidades de porcentaje por semana, en función del tiempo de permanencia en semanas.

II.3.4. Descomposición de celulosa en el pastizal pastoreado a nivel superficial

Se presentan los datos unitarios en la tabla II-9 ; los valores medios de descomposición y remanente porcentual de celulosa en la tabla II-10. Los primeros se han volcado en la figura II-15 y los segundos en la II-16; en esta última puede apreciarse la dispersión de los valores.

TABLA II-10

tiempo de permanencia en semanas	celulosa remanente porcentual	descomposición porcentual
3	95,1	4,9
6	80,9	19,1
10	85,5	14,5
15	75,8	24,2
18	65,2	34,8

Se calculó la recta de regresión de logaritmo natural del remanente porcentual sobre el tiempo de permanencia, como en los casos anteriores (cálculos en la tabla II-11), la que se ha graficado en la figura II-17.

Obtenido el parámetro k , se calcularon los valores estimados de descomposición porcentual, remanente porcentual y velocidad de descomposición, los que se presentan en la tabla II-11 y se grafican en las figuras II-18, II-19 y II-20 respectivamente.

La vida media de las muestras, calculada de la forma acostumbrada, resultó igual a 33,0 semanas.

TABLA II-9. Datos unitarios de descomposición de celulosa

Todos los pesos en gramos. Cenizas del material original: 1,66% del peso seco

situación y profundi- dad	tiempo (sem.)	identificación de la muestra	peso seco original	contenido de celulosa original	peso seco del material recuperado	cenizas del material recuperado	celulosa remanente libre de cenizas	remanente porcentual	descomposición porcentual
pastizal	3	3	0,3734	0,3672	0,4912	0,1321	0,3591	97,8	2,2
	3	44	0,3843	0,3779	0,4229	0,0832	0,3397	89,9	10,1
	3	71	0,3621	0,3561	0,4236	0,0761	0,3475	97,6	2,4
	6	79	0,4162	0,4092	0,3699	0,0245	0,3454	84,4	15,6
	6	45	0,3489	0,3431	0,4063	0,1222	0,2841	82,8	17,2
pastoreado	6	31	0,3945	0,3879	0,3905	0,0976	0,2929	75,5	24,5
nivel	10	22	0,3275	0,3220	0,3606	0,0714	0,2892	89,8	10,2
	10	74	0,3716	0,3654	0,4016	0,0921	0,3095	84,7	15,3
	10	103	0,3680	0,3619	0,3979	0,1011	0,2968	82,0	18,0
superfi- cial	15	67	0,3653	0,3592	0,4529	0,2061	0,2468	68,7	31,3
	15	40	0,3987	0,3920	0,4493	0,1561	0,2932	74,8	25,2
	15	15	0,3767	0,3704	0,3377	0,0269	0,3108	83,9	16,1
	18	50	0,4182	0,4112	0,3648	0,0889	0,2759	67,1	32,9
	18	76	0,3678	0,3617	0,3272	0,0961	0,2311	63,9	36,1
	18	19	0,3572	0,3512	0,3031	0,0762	0,2269	64,6	35,4

TABLA II-11. Valores estimados de celulosa remanente porcentual (r), descomposición porcentual (d) y velocidad de descomposición (v). Cálculo de los parámetros de la recta de regresión.

tiempo de permanencia, semanas	r	ln r	d	v
0	99,4	4,60	0,6	-2,09
3	93,3		6,6	-1,96
6	87,6		12,3	-1,84
10	80,6		19,4	-1,69
15	72,5		27,4	-1,52
18	68,1	4,22	31,9	-1,43
<p>Parámetros de la recta de regresión:</p> <p>$B = -0,0210$</p> <p>$A = 4,5993$</p>				

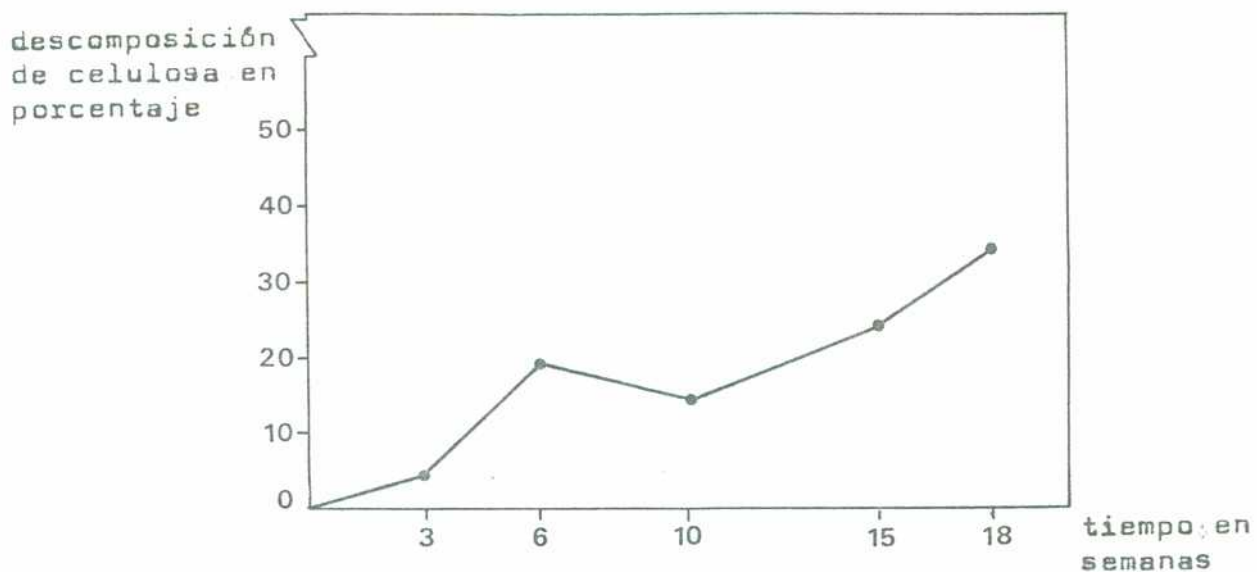


Figura II-15. Descomposición acumulativa de celulosa. Cada punto representa el valor medio de 3 datos unitarios.

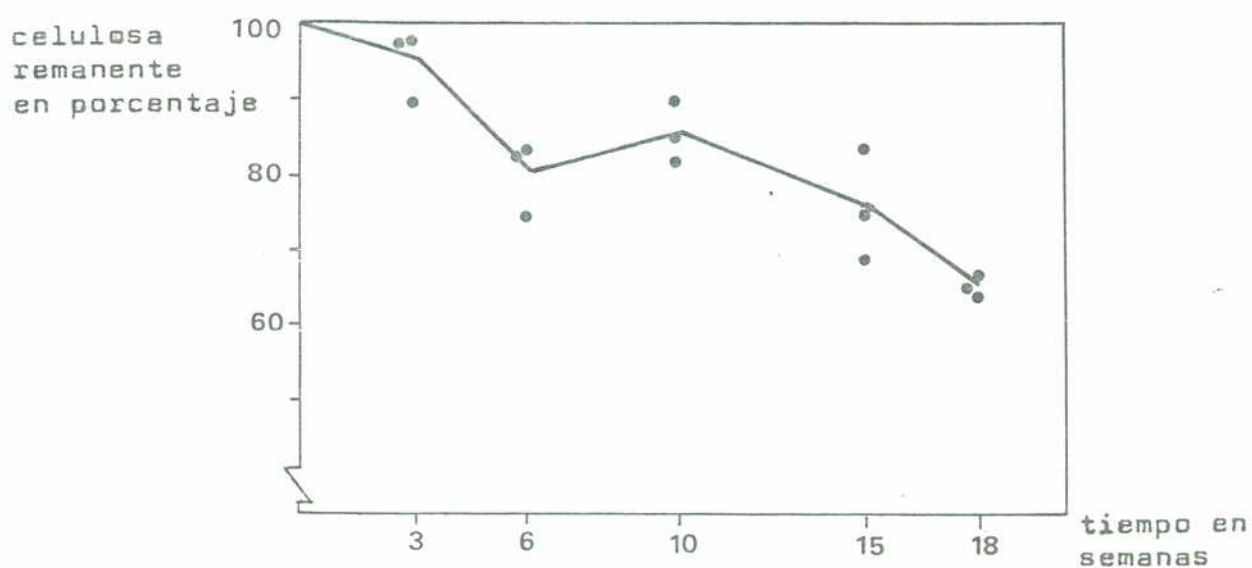


Figura II-16. Celulosa remanente porcentual. Cada punto representa un dato unitario. La línea quebrada pasa por los valores medios.

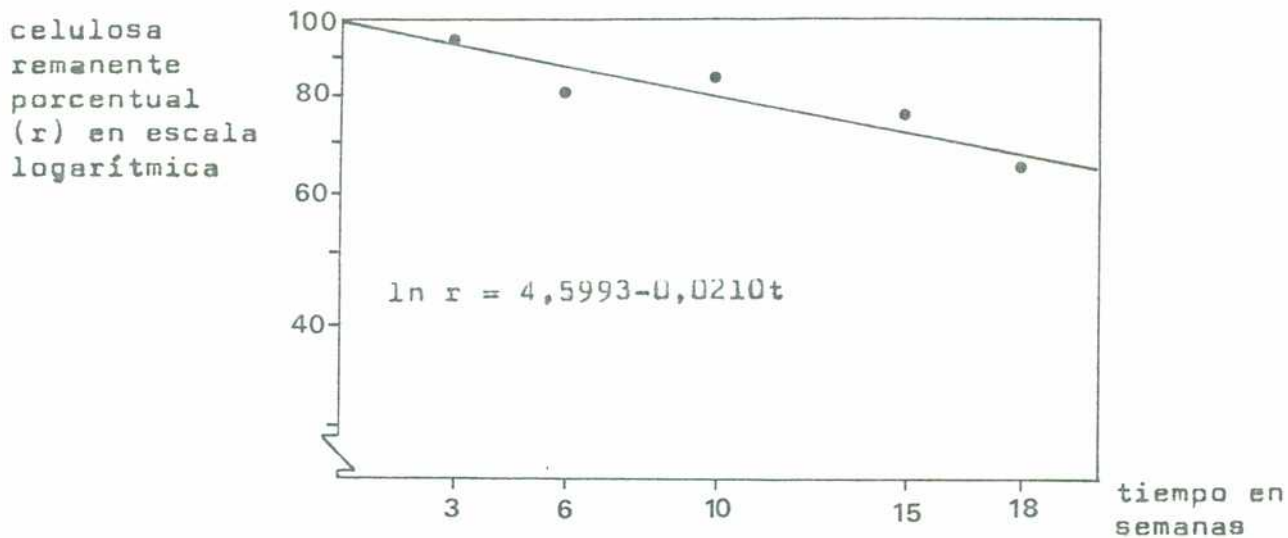


Figura II-17. Regresión de remanente porcentual de celulosa (\ln) sobre el tiempo de permanencia (semanas). Se han representado por puntos los valores medios experimentales de celulosa remanente porcentual.

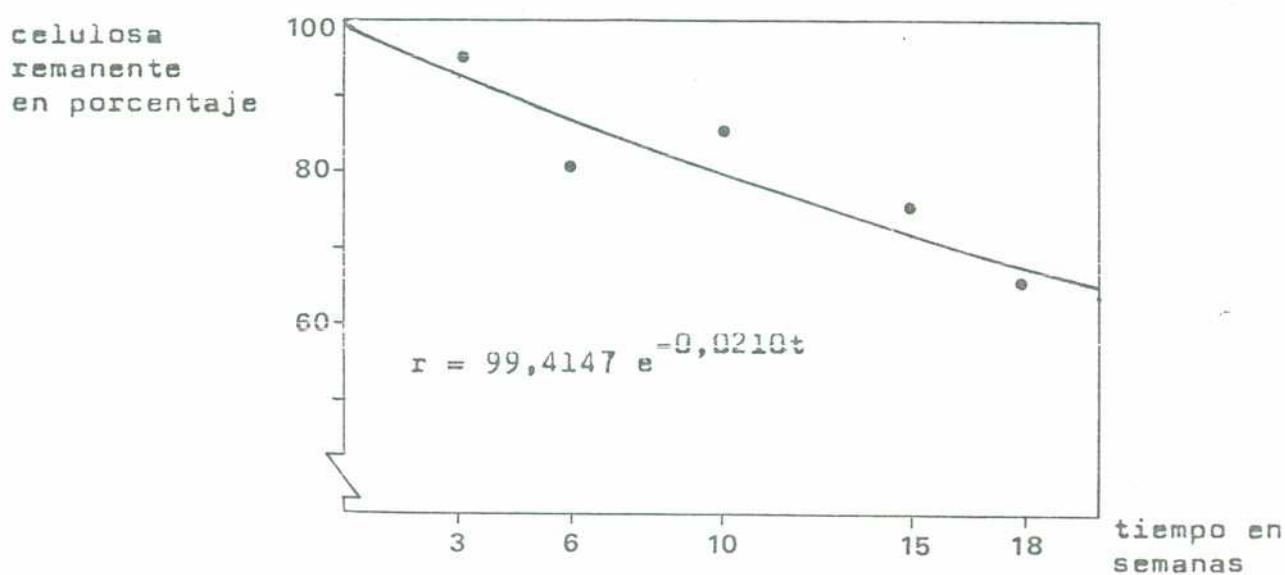


Figura II-18. Celulosa remanente porcentual en función del tiempo de permanencia en semanas. Los puntos representan los valores medios experimentales de celulosa remanente porcentual.

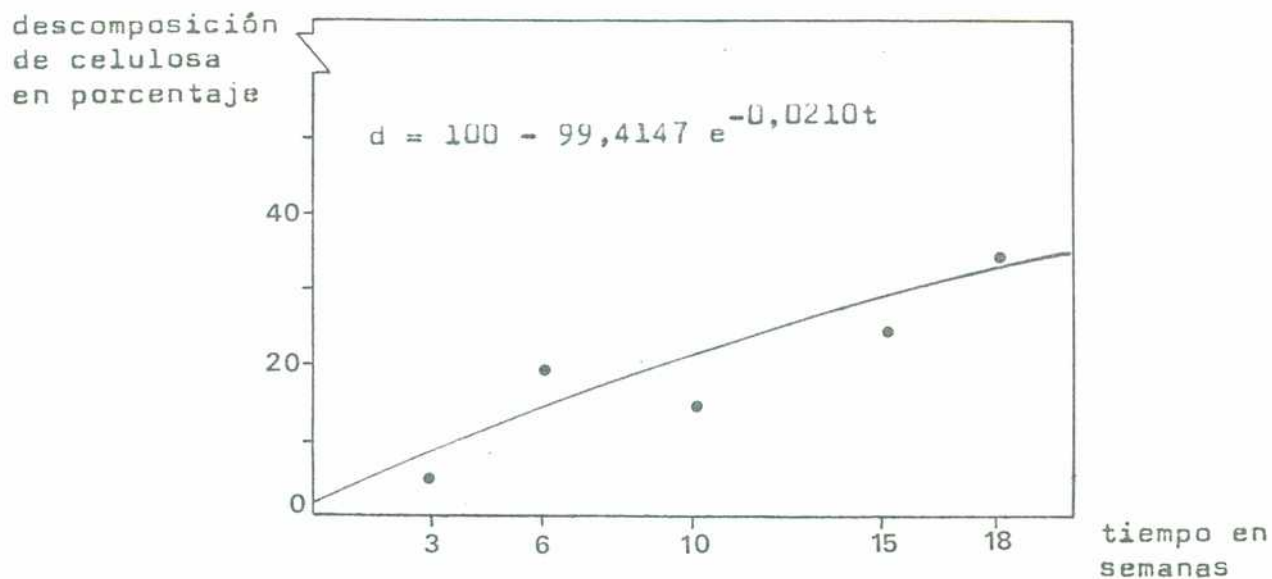


Figura II-19. Descomposición porcentual de la celulosa en función del tiempo de permanencia. Los puntos representan los valores medios experimentales de descomposición porcentual.

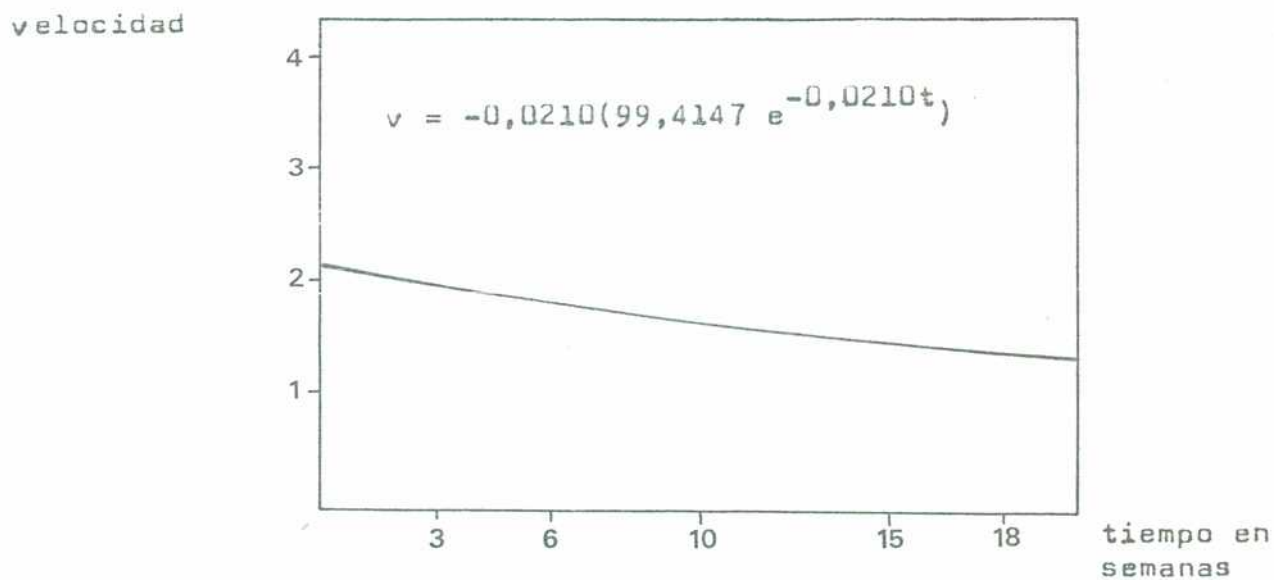


Figura II-20. Velocidad de descomposición de la celulosa, en unidades de porcentaje por semana, en función del tiempo de permanencia en semanas.

II.3.5. Descomposición de celulosa en la clausura de 5 años a 15 cm de profundidad

Los datos unitarios se han reunido en la tabla II-12 y los valores medios se presentan en la tabla II-13; los últimos se han graficado en las figuras II-21 y II-22. La segunda de las mencionadas permite apreciar la dispersión de los datos.

TABLA II-13

tiempo de permanencia en semanas	celulosa remanente porcentual	descomposición porcentual
3	93,9	6,1
6	91,8	8,2
10	81,1	18,9
15	68,0	32,0
18	75,3	24,7

Se calculó la recta de regresión de $\ln r$ sobre t , como se hizo en los casos anteriores, graficándosela en la figura II-23. Con el parámetro k obtenido por regresión, se estimaron los valores de r remanente porcentual, descomposición porcentual y velocidad de descomposición, que se presentan en la tabla II-14 y se grafican en las figuras II-24, II-25 y II-26 respectivamente.

El semiperíodo de las muestras fue calculado en 35,0 semanas.

TABLA II-14. Valores estimados de r , d y v . Parámetros de la recta de regresión.

tiempo de permanencia en semanas	r	$\ln r$	d	v
0	99,9	4,60	0,1	-1,98
3	94,2		5,8	-1,86
6	88,7		11,2	-1,76
10	82,0		18,0	-1,62
15	74,3		25,7	-1,47
18	70,0	4,25	30,0	-1,39
Parámetros de la línea de regresión:				
$B = -0,0198$ $A = 4,6046$				

TABLA 11-12. Datos unitarios de descomposición de celulosa

Todos los pesos en gramos. Cenizas del material original: 1,66 % del peso seco

situación y profundi- dad	tiempo (sem.)	identificación de la muestra	peso seco original	contenido de celulosa original	peso seco del material recuperado	cenizas del material recuperado	celulosa remanente libre de cenizas	remanente porcentual	descomposición porcentual
clausura de 5 años nivel de 15 cm	3	63	0,3676	0,3615	0,3442	0,0123	0,3319	91,8	8,2
	3	69	0,3775	0,3712	0,4506	0,0928	0,3578	96,4	3,6
	3	109	0,3600	0,3540	0,4170	0,0860	0,3310	93,5	6,5
	6	53	0,4065	0,3997	0,4354	0,0721	0,3633	90,9	9,1
	6	24	0,3926	0,3860	0,4019	0,0653	0,3366	87,2	12,8
	6	12	0,3500	0,3442	0,4375	0,1026	0,3349	97,3	2,7
	10	64	0,3223	0,3169	0,3613	0,0932	0,2681	84,6	15,4
	10	93	0,3600	0,3540	0,3311	0,0465	0,2846	80,4	19,6
	10	123	0,4085	0,4017	0,3697	0,0552	0,3145	78,3	21,7
	15	58	0,3984	0,3917	0,3478	0,0630	0,2848	72,7	27,3
	15	35	0,3927	0,3861	0,2542	0,0195	0,2347	60,8	39,2
	15	9	0,3778	0,3715	0,3234	0,0615	0,2619	70,5	29,5
	18	80	0,3696	0,3634	0,3226	0,0541	0,2685	73,9	26,1
	18	55	0,3345	0,3289	0,2754	0,0491	0,2263	68,8	31,2
	18	60	0,3602	0,3542	0,3365	0,0418	0,2947	83,2	16,8

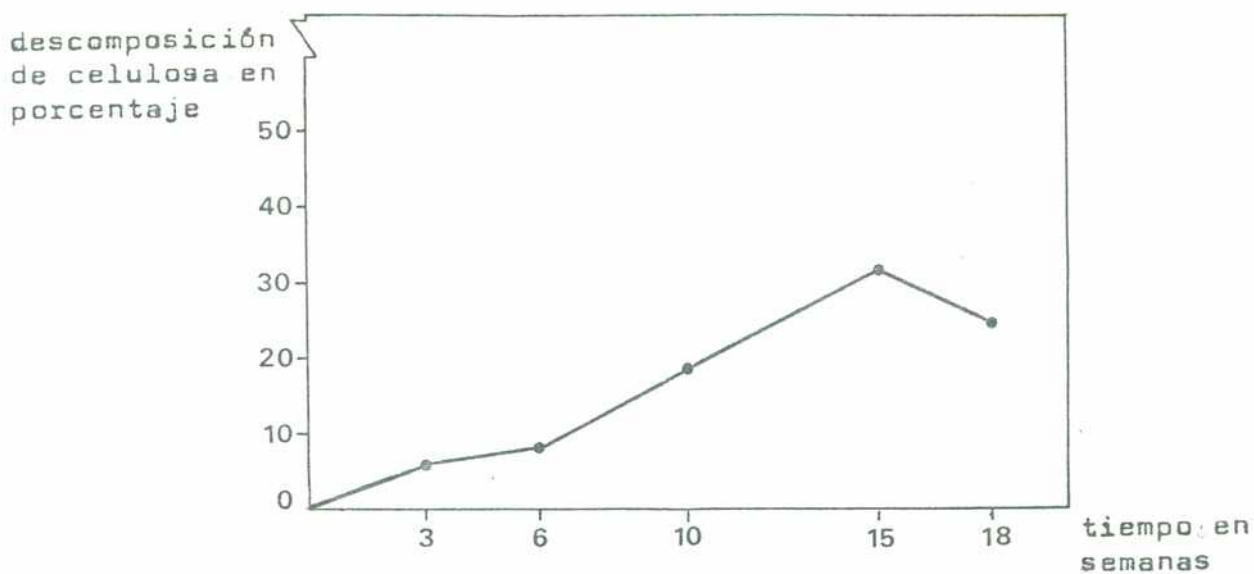


Figura II-21. Descomposición acumulativa de celulosa. Cada punto representa el valor medio de 3 datos unitarios.

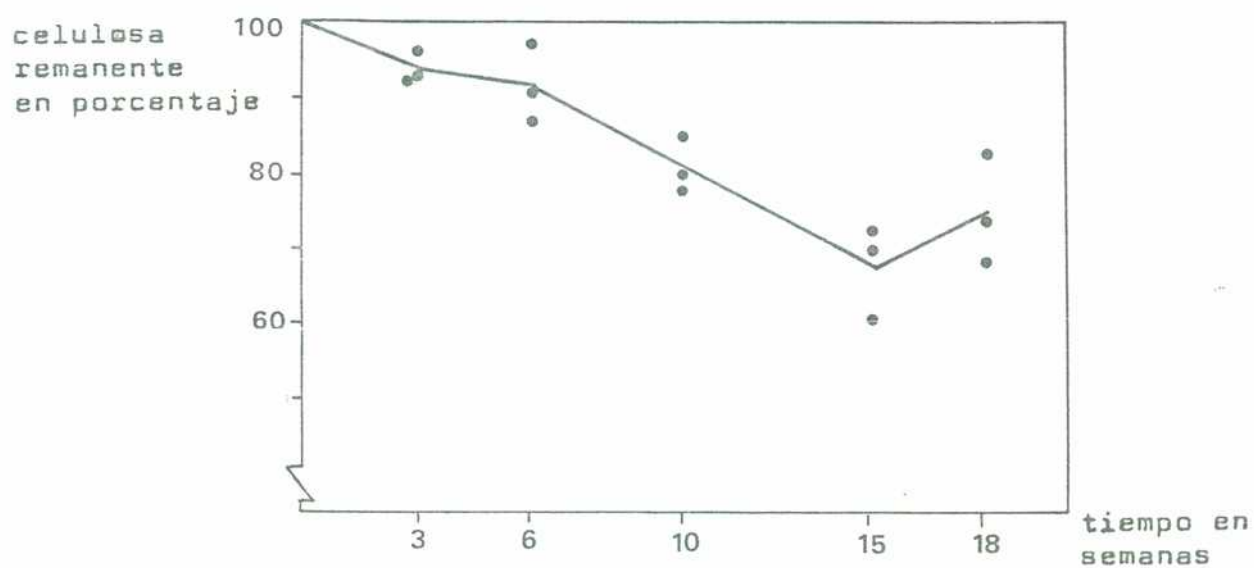


Figura II-22. Celulosa remanente porcentual. Cada punto representa un dato unitario. La línea quebrada pasa por los valores medios.

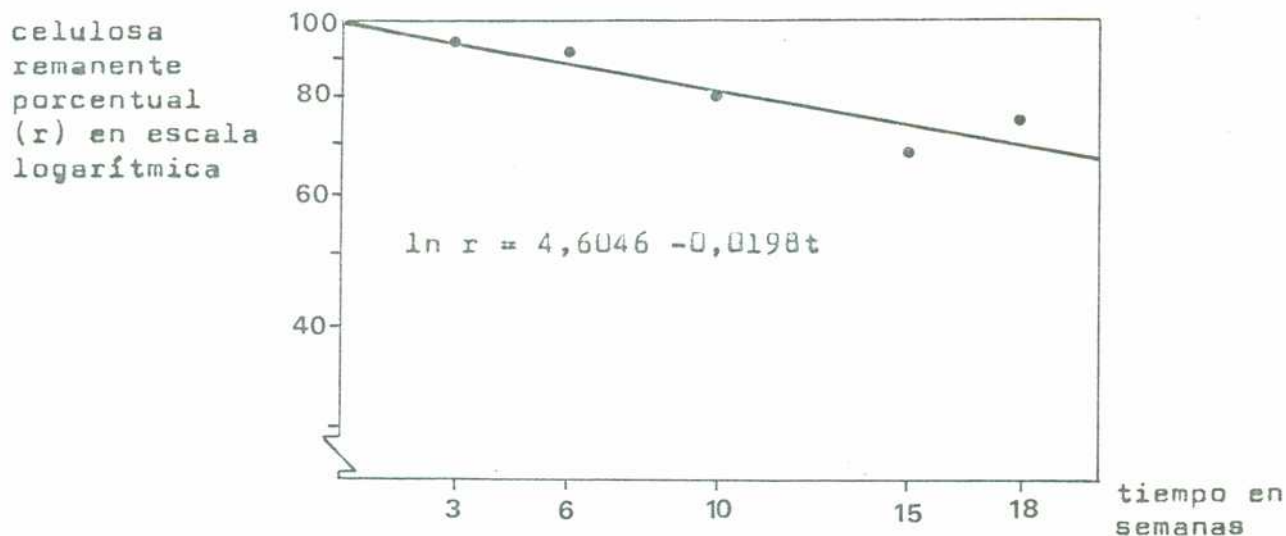


Figura II-23. Regresión de remanente porcentual de celulosa (\ln) sobre el tiempo de permanencia (semanas). Se han representado por puntos los valores medios experimentales de celulosa remanente porcentual.

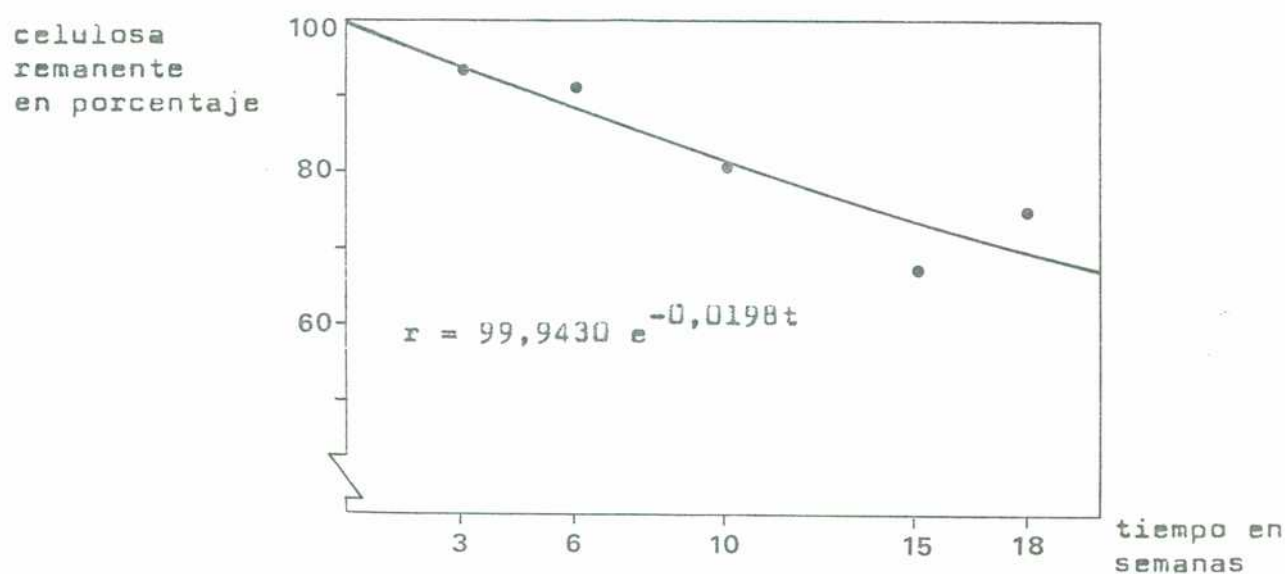


Figura II-24. Celulosa remanente porcentual en función del tiempo de permanencia en semanas. Los puntos representan los valores medios experimentales de celulosa remanente porcentual.

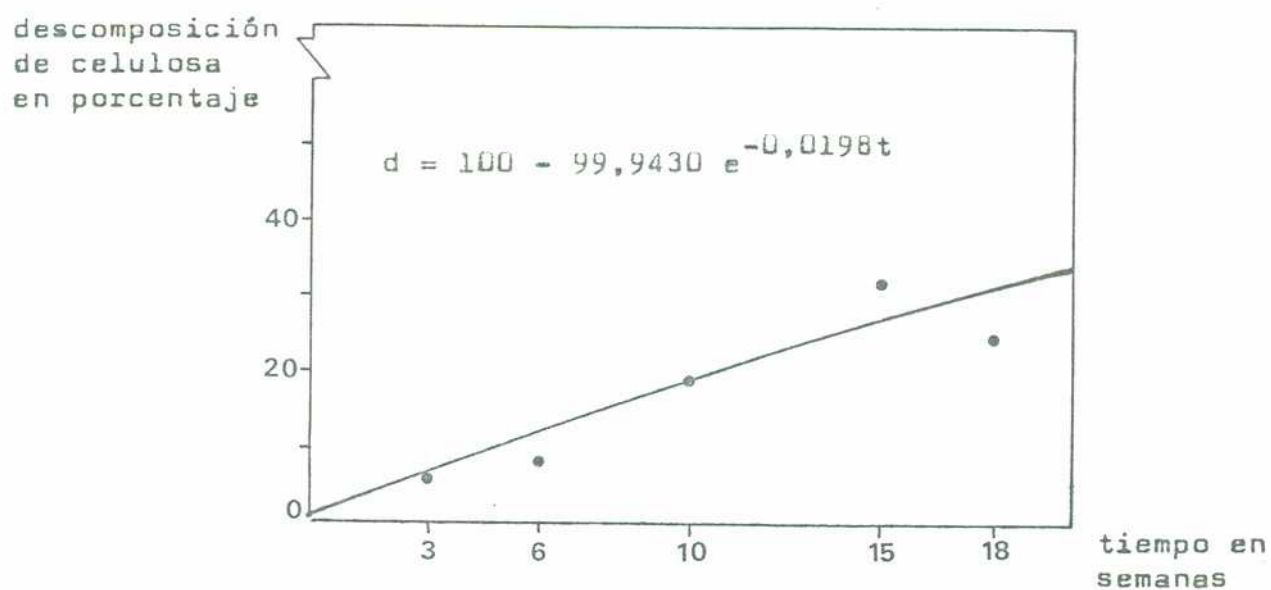


Figura II-25. Descomposición porcentual de la celulosa en función del tiempo de permanencia. Los puntos representan los valores medios experimentales de descomposición porcentual.

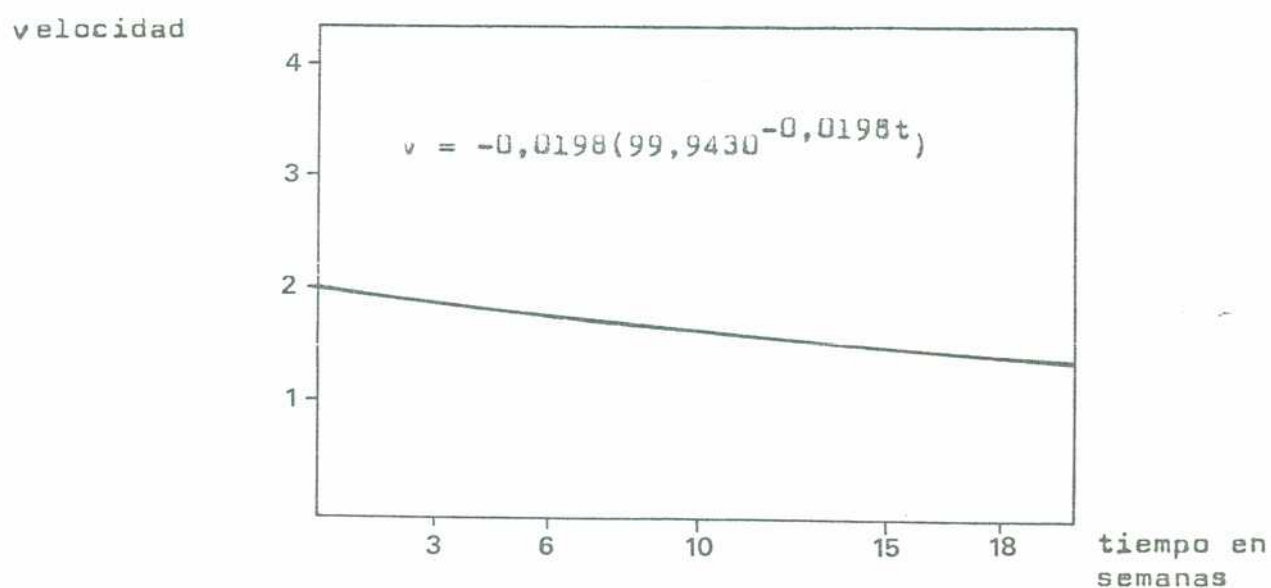


Figura II-26. Velocidad de descomposición de la celulosa, en unidades de porcentaje por semana, en función del tiempo de permanencia en semanas.

II.3.6. Descomposición de celulosa en la clausura de 6 meses a 15 cm de profundidad

Se reúnen los datos unitarios en la tabla II-15 y los valores medios en la tabla II-16, los que se grafican en las figuras II-27 y II-28; esta última muestra la dispersión de los valores.

TABLA II-16

tiempo de permanencia en semanas	celulosa remanente porcentual	descomposición porcentual
3	95,8	4,2
6	87,7	12,3
10	82,4	17,6
15	83,5	16,5
18	80,8	19,2

Fue calculada la recta de regresión de $\ln r$ sobre t , la cual se grafica en la figura II-29. Se utilizó el parámetro k obtenido para estimar los valores de remanente y descomposición porcentual, como asimismo la velocidad de descomposición. Estos se representan en las figuras II-30, II-31 y II-32 respectivamente.

Se estimó la vida media de las muestras en 60,3 semanas.

TABLA II-17. Valores estimados de r , d y v . Parámetros de regresión

tiempo de permanencia en semanas	r	$\ln r$	d	v
0	97,3	4,58	2,7	-1,12
3	94,0		6,0	-1,08
6	90,8		9,2	-1,04
10	86,7		13,3	-1,00
15	81,9		18,1	-0,94
18	79,1	4,37	20,9	-0,91
Parámetros de regresión:				
$B = -0,0115$ $A = 4,5777$				

TABLA 11-15. Datos unitarios de descomposición de celulosa

Todos los pesos en gramos. Cenizas del material original: 1,66% del peso seco

situación y profundi- dad	tiempo (sem.)	identificación de la muestra	peso seco original	contenido de celulosa original	peso seco del material recuperado	cenizas del material recuperado	celulosa remanente libre de cenizas	remanente porcentual	descomposición porcentual
clausura	3	100	0,3620	0,3560	0,4291	0,0902	0,3389	95,2	4,8
	3	107	0,3550	0,3491	0,4202	0,0847	0,3355	96,1	3,9
	3	7	0,3998	0,3931	0,3971	0,0193	0,3778	96,1	3,9
	6	75	0,3730	0,3668	0,4340	0,1072	0,3268	89,1	10,9
	6	43	0,3764	0,3701	0,3861	0,0834	0,3027	81,8	18,2
de 6 meses	6	104	0,3927	0,3861	0,3798	0,0238	0,3560	92,2	7,8
profundi- dad 15 cm	10	33	0,4131	0,4062	0,3404	0,0146	0,3258	80,2	19,8
	10	68	0,3528	0,3469	0,3623	0,0661	0,2962	85,4	14,6
	10	98	0,3633	0,3572	0,3823	0,0908	0,2915	81,6	18,4
	15	42	0,3747	0,3684	0,3446	0,0440	0,3006	84,8	15,2
	15	17	0,4059	0,3991	0,4264	0,0816	0,3448	86,4	13,6
	15	49	0,3866	0,3801	0,4151	0,1137	0,3014	79,3	20,7
	18	51	0,3910	0,3845	0,3620	0,0644	0,2976	77,4	22,6
	18	54	0,3833	0,3769	0,3614	0,0380	0,3234	85,8	14,2
	18	16	0,3970	0,3904	0,3584	0,0492	0,3092	79,2	20,8

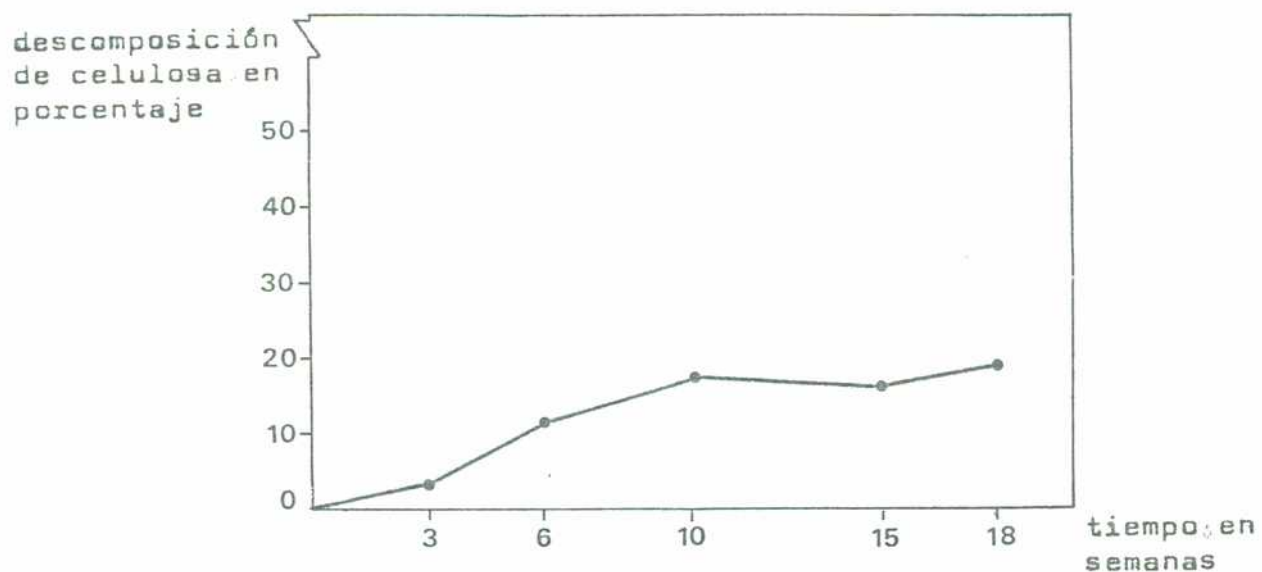


Figura II-27. Descomposición acumulativa de celulosa. Cada punto representa el valor medio de 3 datos unitarios.

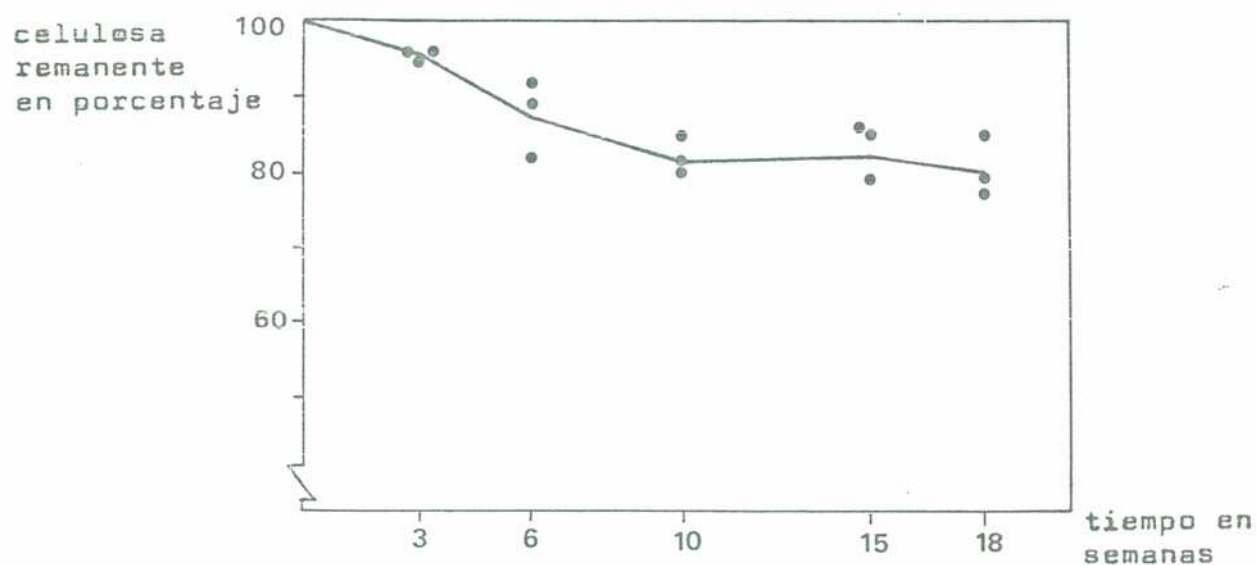


Figura II-28. Celulosa remanente porcentual. Cada punto representa un dato unitario. La línea quebrada pasa por los valores medios.

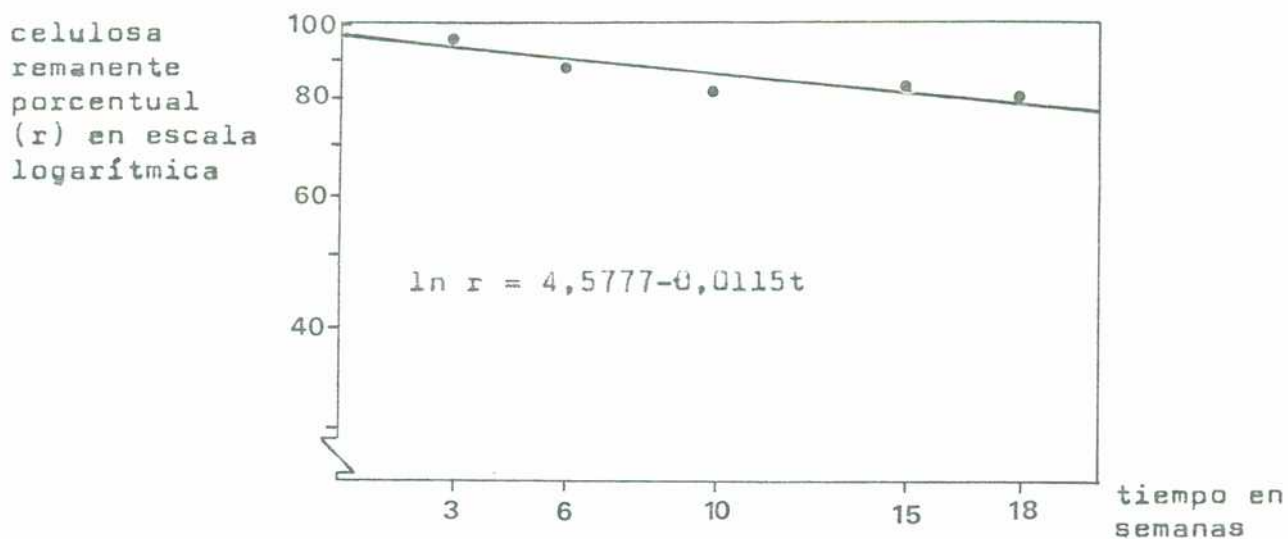


Figura II-29. Regresión de remanente porcentual de celulosa (\ln) sobre el tiempo de permanencia (semanas). Se han representado por puntos los valores medios experimentales de celulosa remanente porcentual.

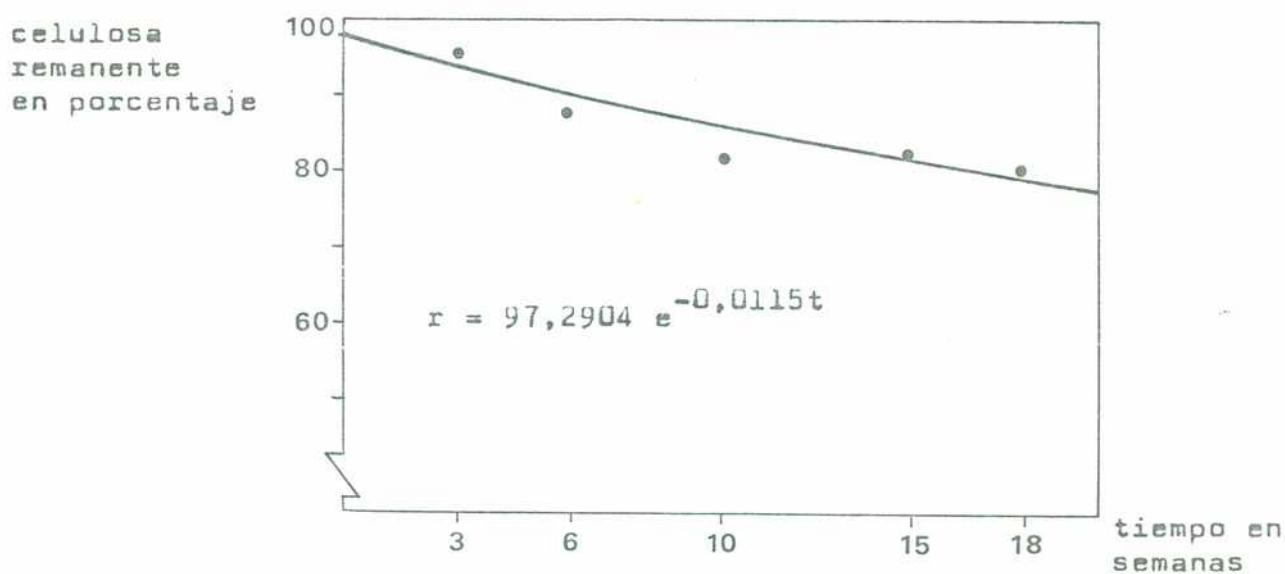


Figura II-30. Celulosa remanente porcentual en función del tiempo de permanencia en semanas. Los puntos representan los valores medios experimentales de celulosa remanente porcentual.

descomposición
de celulosa
en porcentaje

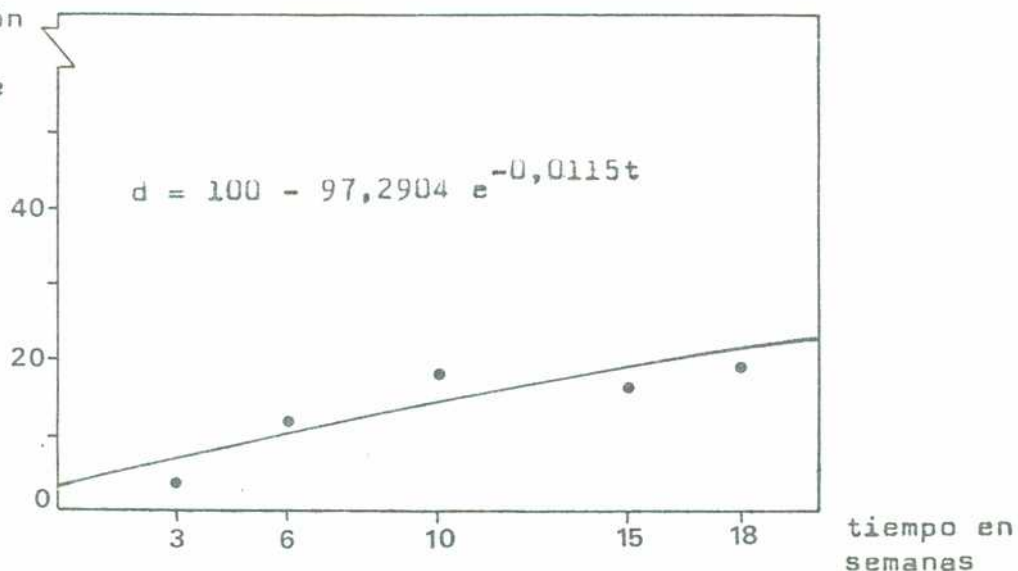


Figura II-31. Descomposición porcentual de la celulosa en función del tiempo de permanencia. Los puntos representan los valores medios experimentales de descomposición porcentual.

velocidad

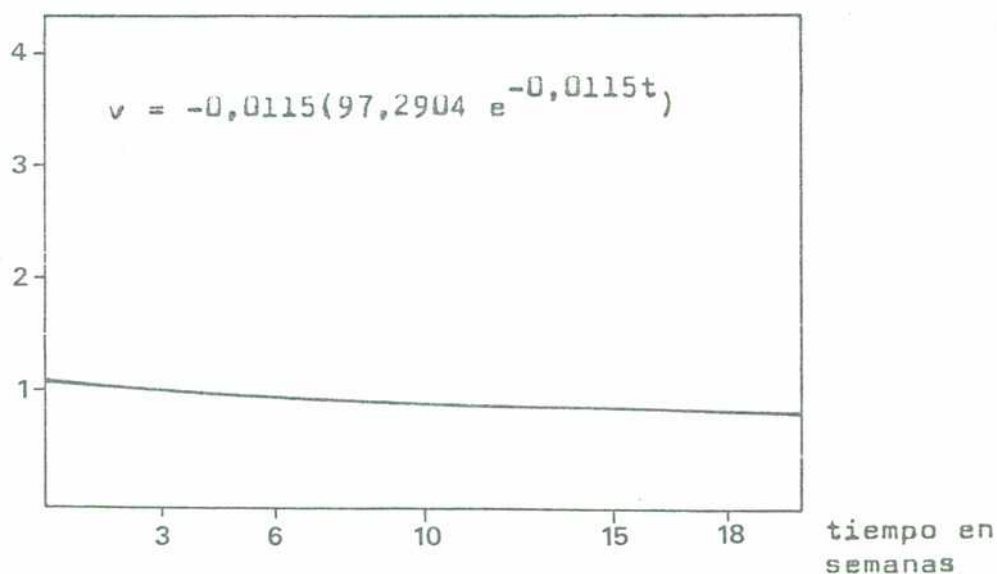


Figura II-32. Velocidad de descomposición de la celulosa, en unidades de porcentaje por semana, en función del tiempo de permanencia en semanas.

II.3.7. Descomposición de celulosa en el pastizal pastoreado a 15 cm de profundidad

Los datos unitarios se han reunido en la tabla II-18; los valores medios se presentan en la tabla II-19 y se grafican en las figuras II-33 y II-34; en esta última puede apreciarse la dispersión de los datos.

TABLA II-19

tiempo de permanencia en semanas	celulosa remanente porcentual	descomposición porcentual
3	95,1	4,9
6	87,8	12,2
10	82,9	17,1
15	83,8	16,2
18	80,5	19,5

Se calculó la regresión de $\ln r$ sobre t , como en los casos anteriores; la recta se grafica en la figura II-35. Con el parámetro k se estimaron los valores de remanente porcentual, descomposición porcentual y velocidad de descomposición. Estos se presentan en la tabla II-20 y se grafican en las figuras II-36, II-37 y II-38 respectivamente.

Fue estimado el semiperíodo de las muestras en 60,8 semanas.

TABLA II-20. Valores estimados de r , d , y v . Parámetros de regresión

tiempo de permanencia en semanas	r	$\ln r$	d	v
0	97,2	4,58	2,8	-1,11
3	93,9		6,1	-1,07
6	90,8		9,2	-1,03
10	86,7		13,3	-0,99
15	81,9		18,1	-0,93
18	79,1	4,37	20,8	-0,90
Parámetros de regresión:				
$B = -0,0114$ $A = 4,5766$				

TABLA II-18. Datos unitarios de descomposición de celulosa

Todos los pesos en gramos. Cenizas del material original: 1,66% del peso seco

situación y profundi- dad	tiempo (sem)	identificación de la muestra	peso seco original	contenido de celulosa original	peso seco del material recuperado	cenizas del material recuperado	celulosa remanente libre de cenizas	remanente porcentual	descomposición porcentual
pastizal	3	2	0,3976	0,3910	0,4389	0,0561	0,3828	97,9	2,1
	3	39	0,3707	0,3645	0,4186	0,0680	0,3506	96,2	3,8
	3	82	0,3422	0,3365	0,3781	0,0712	0,3069	91,2	8,8
	6	113	0,3804	0,3740	0,4456	0,1120	0,3336	89,2	10,8
	6	36	0,3886	0,3821	0,3754	0,0560	0,3194	83,6	16,4
pastoreado	6	4	0,3983	0,3916	0,3974	0,0426	0,3548	90,6	9,4
nivel	10	70	0,3825	0,3761	0,3447	0,0325	0,3122	83,0	17,0
	10	1	0,3676	0,3615	0,4085	0,0962	0,3123	86,4	13,6
	10	30	0,3782	0,3719	0,3785	0,0836	0,2949	79,3	20,7
	15	14	0,3519	0,3460	0,3557	0,0761	0,2796	80,8	19,2
	15	37	0,3615	0,3555	0,3676	0,0654	0,3022	85,0	15,0
de 15 cm	15	27	0,3752	0,3689	0,3699	0,0541	0,3158	85,6	14,4
	18	20	0,3825	0,3761	0,3609	0,0649	0,2960	78,7	21,3
	18	29	0,3905	0,3840	0,3903	0,0532	0,3371	87,8	12,2
	18	83	0,4032	0,3965	0,3956	0,0982	0,2974	75,0	25,0

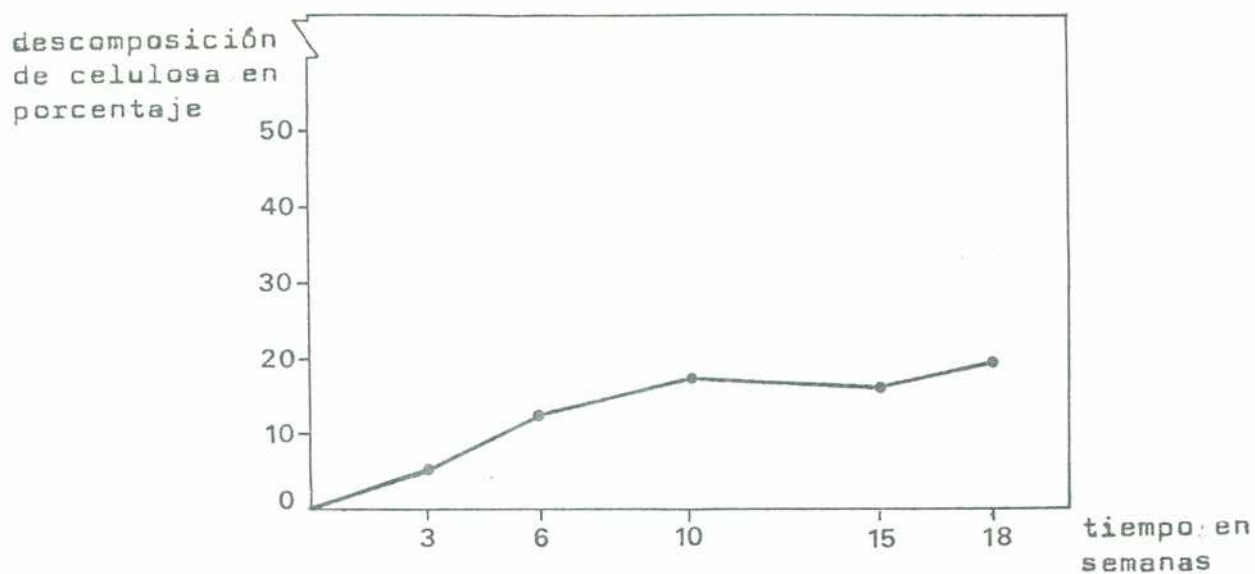


Figura II-33. Descomposición acumulativa de celulosa. Cada punto representa el valor medio de 3 datos unitarios.

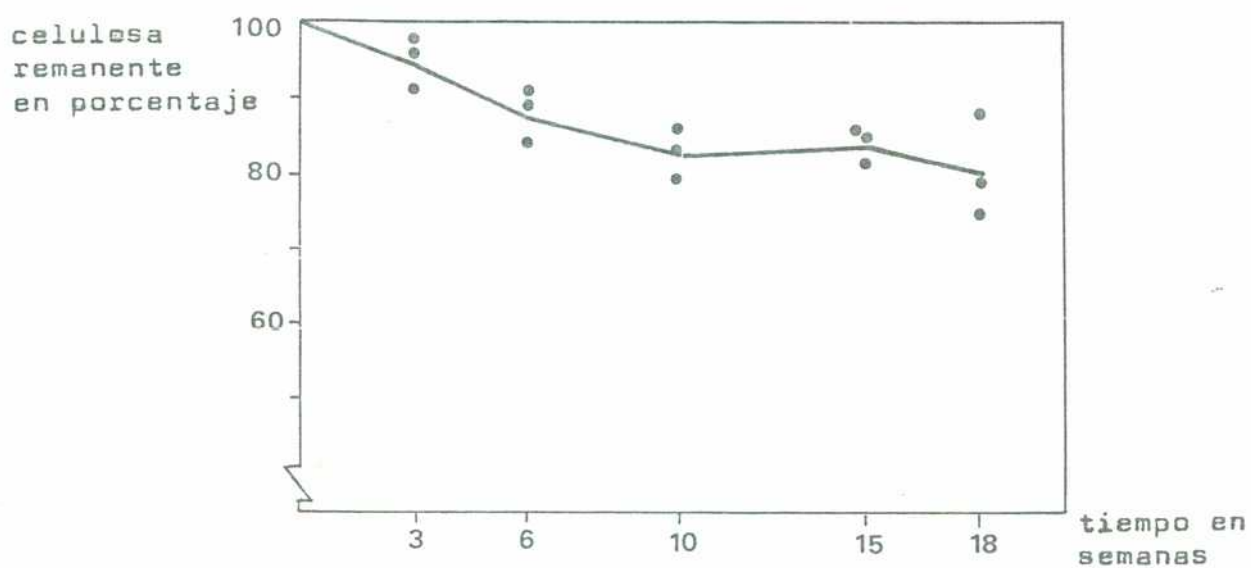


Figura II-34. Celulosa remanente porcentual. Cada punto representa un dato unitario. La línea quebrada pasa por los valores medios.

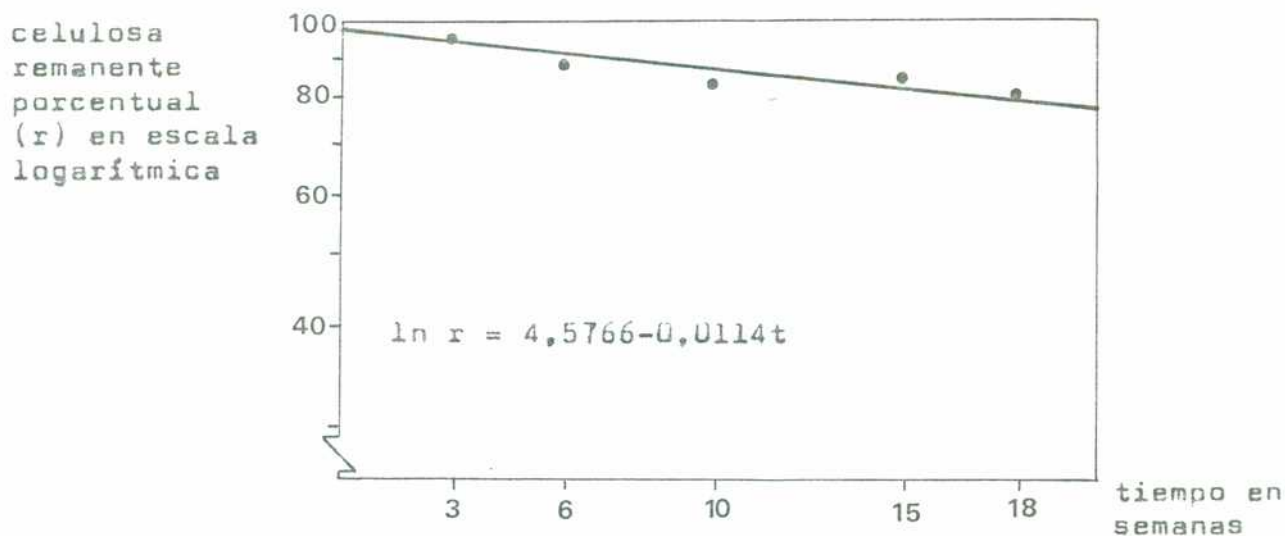


Figura II-35. Regresión de remanente porcentual de celulosa (\ln) sobre el tiempo de permanencia (semanas). Se han representado por puntos los valores medios experimentales de celulosa remanente porcentual.

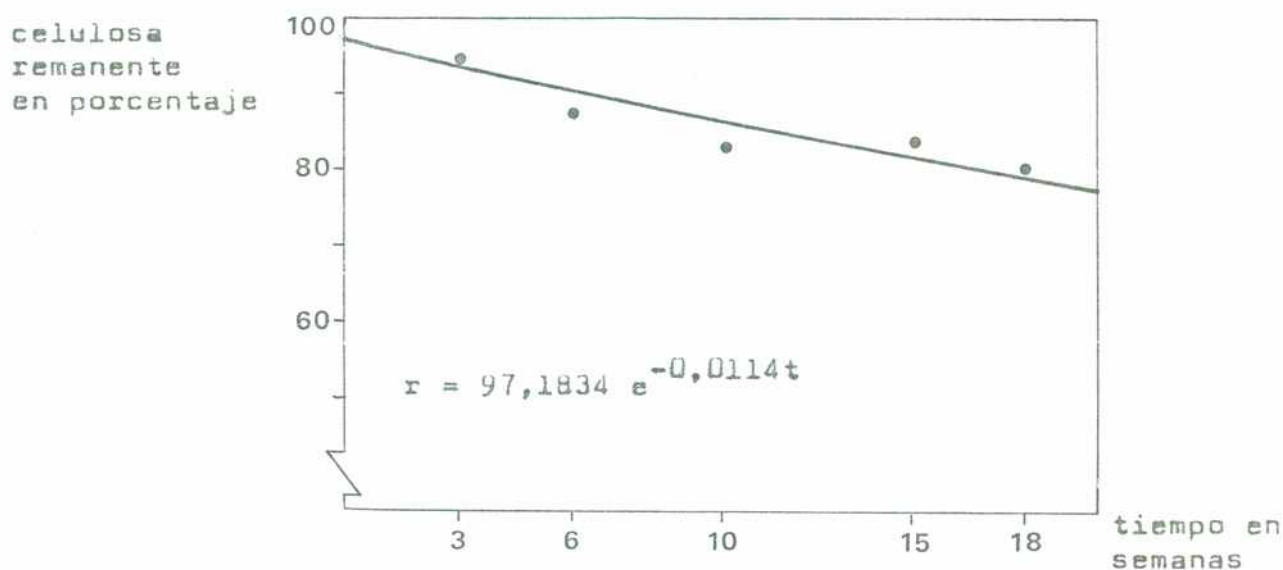


Figura II-36. Celulosa remanente porcentual en función del tiempo de permanencia en semanas. Los puntos representan los valores medios experimentales de celulosa remanente porcentual.

descomposición
de celulosa
en porcentaje

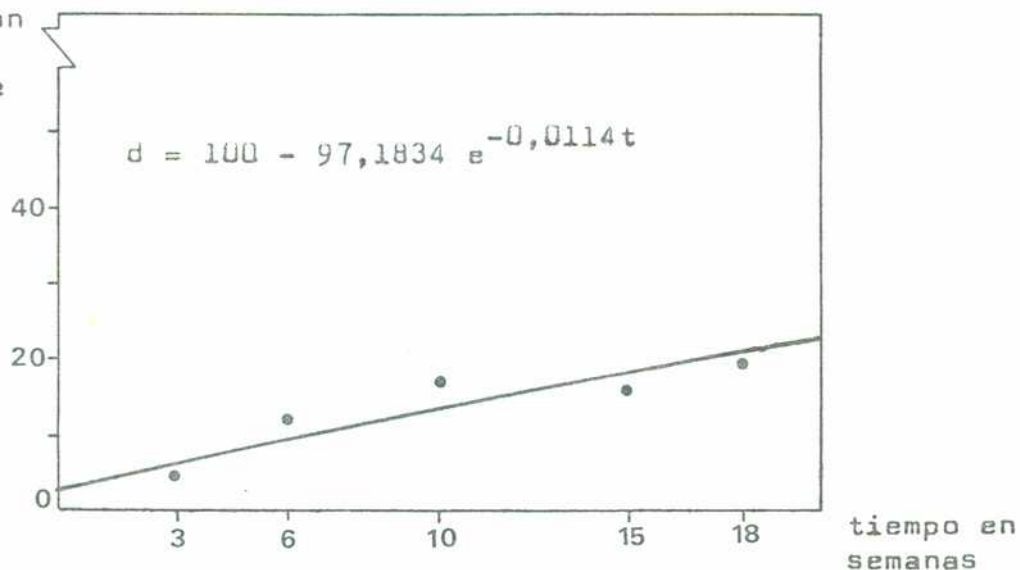


Figura II-37. Descomposición porcentual de la celulosa en función del tiempo de permanencia. Los puntos representan los valores medios experimentales de descomposición porcentual.

velocidad

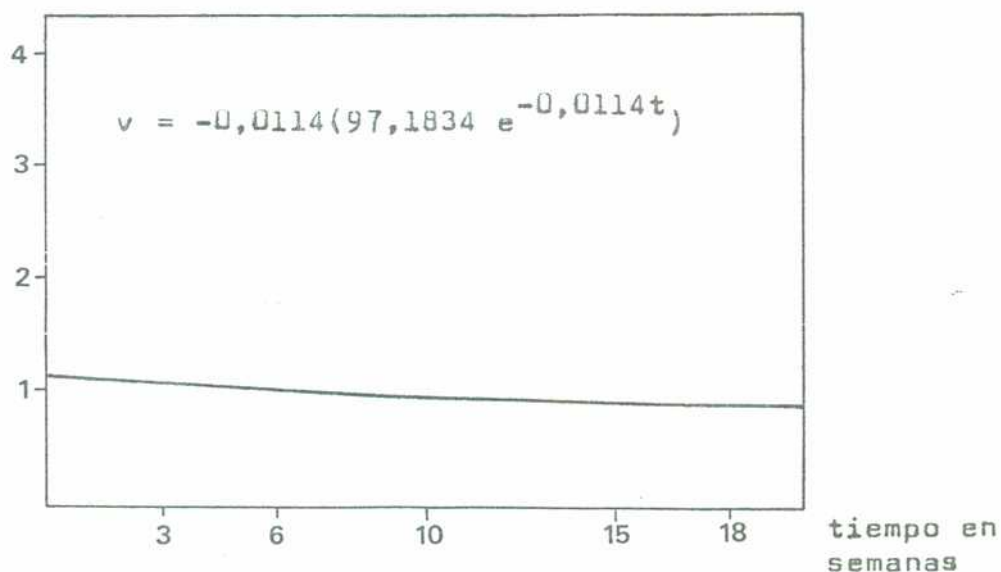


Figura II-38. Velocidad de descomposición de la celulosa, en unidades de porcentaje por semana, en función del tiempo de permanencia en semanas.

II.4. COMPARACIONES ENTRE LOS ENSAYOS

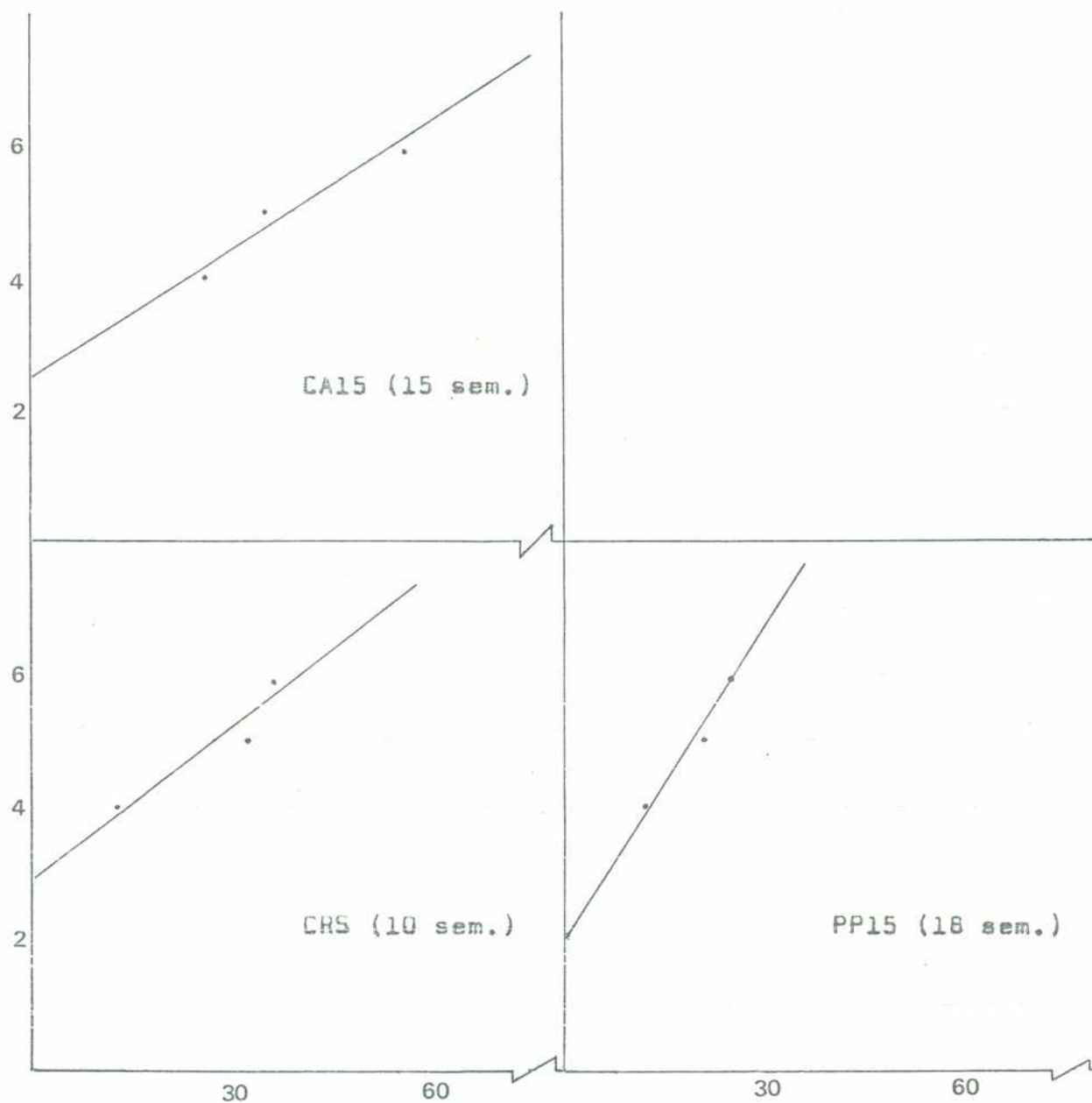
En las secciones II.3.2. a II.3.6 se han expuesto los datos provenientes de los ensayos de descomposición de celulosa (tiras de tela de algodón), ajustándolos a expresiones matemáticas, lo cual ha permitido evidenciar ciertas regularidades del proceso en estudio y hacer algunas inferencias tales como la tasa de descomposición k y el tiempo de vida medio de las muestras, pero siempre relativas a cada caso. Se intenta en esta sección establecer comparaciones entre los mencionados ensayos, utilizando para ello métodos estadísticos, lo cual se hace necesario dado que para lograr conclusiones válidas en el presente tema se debe trabajar con gran número de datos, cuya interpretación en forma no subjetiva requiere la aceptación de los recaudos y limitaciones propios de las técnicas estadísticas.

Se inicia el análisis comparando todos los ensayos a un mismo tiempo de permanencia de las muestras en el suelo, es decir, "cortando" los experimentos a las 3 semanas, 6, 10, etc. Este procedimiento mostrará si hay diferencias significativas entre ellos y si se produce interacción entre la situación de clausura al pastoreo y la profundidad de colocación de las muestras en el suelo. Para ello se recurre al análisis de la varianza con dos criterios de clasificación y más de una observación por combinación.

El análisis de la varianza requiere que la variable aleatoria en consideración se distribuya normalmente⁷. Si un número muy grande de variables aleatorias independientes se suman, de manera que el efecto de cada una de ellas sea muy pequeño en la producción del error total, la variable aleatoria resultante de la concurrencia de aquéllas se distribuirá normalmente¹². De la bibliografía consultada se desprende que la descomposición experimental de celulosa en un suelo y a una profundidad determinados, correspondiente a un determinado período de permanencia, tiene una distribución normal, como que la oscilación de los datos en torno a su media depende de un número muy grande de causas que actúan en forma independiente. De todos modos, se comprueba la normalidad de la variable mediante la transformación probítica¹¹ (fig. II-39). Otro requisito para la utilización del análisis de la varianza es que exista homogeneidad de las varianzas, lo cual se verificaba en el caso de los ensayos con papel de filtro siempre que las muestras se encontraran cubiertas con tierra; la situación es similar en los ensayos con tela de algodón, de manera que es esperable la homogeneidad de las varianzas, lo que igualmente se comprueba mediante el cociente de ensayo de Fisher (Snédécór) (tabla II-21).

Los resultados del análisis de la varianza se exponen en la tabla II-22. Al tiempo de permanencia de 3 semanas, ya se evidencian diferencias significativas entre las situaciones y entre las profundidades. La clausura antigua a nivel superficial, con un porcen

Figura 11-39. Comprobación de la normalidad de la variable mediante la transformación probítica



Se han tomado tres casos al azar, para los que se han calculado los probits (en ordenadas; en abscisas, los datos unitarios de descomposición porcentual). Los puntos se ajustan a la línea de probits, con lo que se comprueba la normalidad de la variable.

TABLA II-21. Comprobación de la homogeneidad de las varianzas

<p>Se han efectuado los cocientes de ensayo F (Fisher-Snedécor) en tres casos tomados al azar.* A un mismo tiempo de permanencia, se comparan las varianzas de dos conjuntos de 3 datos unitarios, los que corresponden a dos diferentes combinaciones de situación-profundidad.</p>
<p>1. Tiempo de permanencia, 15 semanas. Comparación entre clausura antigua a nivel superficial (1) y pastizal pastoreado a 15 cm (2)</p> $F = s_1^2 / s_2^2 = 93,73 / 6,84 = 13,7$ $F_{(2;2)}(0,95) = 19 > 13,7$ <p>Se acepta la homogeneidad de las varianzas.</p>
<p>2. Tiempo de permanencia, 10 semanas. Comparación entre clausura antigua a nivel superficial y pastizal pastoreado a 15 cm; (1) y (2) respectivamente.</p> $F = s_1^2 / s_2^2 = 141,75 / 25,22 = 5,62$ $F_{(2;2)}(0,95) = 19 > 5,62$ <p>Se acepta la homogeneidad de las varianzas.</p>
<p>3. Tiempo de permanencia, 18 semanas. Comparación entre clausura antigua a nivel superficial (1), con sólo 2 datos, y pastizal pastoreado a 15 cm (3 datos).</p> $F = s_2^2 / s_1^2 = 43,37 / 35,28 = 1,23$ $F_{(2;1)}(0,95) = 200 > 1,23$ <p>Se acepta la homogeneidad de las varianzas.</p>
<p>*Se han elegido como términos de comparación la clausura antigua a nivel superficial contra el pastizal pastoreado a 15 cm en cada caso, porque entre ambos es esperable encontrar las mayores diferencias entre sus varianzas.</p>

taje de descomposición de 19,1 %, y la clausura reciente al mismo nivel, son las responsables de las diferencias mencionadas.

Al tiempo de 6 semanas, no hay diferencias significativas entre las situaciones: a nivel superficial ambas clausuras presentan valores muy similares y se distancian poco del pastizal pastoreado al mismo nivel (alrededor de 25 % las primeras y 19,1 % el último. Si resultan significativas las diferencias entre las profundidades, siendo los porcentajes del nivel superficial sensiblemente superiores.

Observando los datos de la tabla II-22, puede verse que se manifiesta interacción significativa entre los factores de situación y profundidad, en los tiempos de 3, 10 y 18 semanas, al nivel de significación del 5 %. A las 6 semanas no se manifiesta interacción; tampoco a las 15 semanas, al nivel considerado, pero sí al nivel del 10 %. De lo cual se deduce que en general se produce una real interacción entre los factores en estudio. Siguiendo el criterio de Steel y Torrie, al igual que el de Graybill, expuestos por Cappeletti⁶, no tiene sentido práctico efectuar d²cimas sobre los factores en consideración si se presenta interacción. Es decir, si se supone que la situación de clausura prolongada al pastoreo dará mayores valores de descomposición con respecto a las otras situaciones, del mismo modo que el nivel superficial superará al de 15 cm, la ocurrencia simultánea de ambas circunstancias probablemente arroje porcentajes de descomposición mayores aún debido a la interacción entre ambos factores, interacción positiva que se manifestaría en una potenciación de la capacidad de degradación.

Con objeto de evidenciar la interacción, se han representado en la figura II-40 los datos de descomposición correspondientes a 10 y 18 semanas; en ella se manifiesta que la respuesta al pasar del nivel de 15 cm al superficial es sensiblemente mayor en la clausura antigua.

Por lo expuesto, las diferencias analizadas más arriba entre situaciones y profundidades tienen un valor ilustrativo, pero no es posible profundizar su consideración, efectuando por ejemplo comparaciones bilaterales. Por ejemplo, analizando el cuadro de datos correspondiente al tiempo de 10 semanas de la tabla II-22, se verifica que las diferencias significativas entre situaciones y entre profundidades pueden deberse casi totalmente a la clausura antigua a nivel superficial, con un valor muy alto, 45,5. Pero como la interacción también es significativa, puede sospecharse que este elevado porcentaje de descomposición se debe en parte a ella; por lo tanto, nada puede decirse comparando este dato con el de la clausura reciente a nivel superficial, 26,9, al menos utilizando el análisis de la varianza tal como ha sido desarrollado hasta aquí. Los datos correspondientes a las 10 semanas se representan en la figura II-40.

TABLA II-22. Comparación de los valores de descomposición porcentual de la celulosa en cada tiempo de permanencia de las muestras en el suelo, mediante el análisis de la varianza

CA : clausura de 5 años (clausura antigua)
 CR : clausura de 6 meses (clausura reciente)
 PP : pastizal pastoreado
 S : nivel superficial
 15 : profundidad de 15 cm
 * : nivel de significación del 5 %

Por ejemplo: CA15: se refiere a la clausura de 5 años de antigüedad a la profundidad de 15 cm.

1. Tiempo de permanencia, 3 semanas; datos unitarios y medias

	C A		C R		P P	
S	15,5	$\bar{X} = 19,1$	9,2	13,6	2,2	4,9
	22,6		15,6		10,1	
	19,2		16		2,4	
15	8,2	6,1	4,8	4,2	2,1	4,9
	3,6		3,9		3,8	
	6,5		3,9		8,8	

Fuente de variación	S.C.	G.L.	C.M.	F
situaciones	177,96	2	88,98	8,18*
Profundidades	250,88	1	250,88	23,06*
S x P	135,16	2	67,58	6,21*
Error Exp.	130,54	12	10,88	
Total	694,54			

2. Tiempo de permanencia, 6 semanas

	C A	C R	P P
S	14,7 25,2 29,3 31,6	19,2 24,8 21,3 33,9	15,6 19,1 17,2 24,5
15	9,1 8,2 12,8 2,7	10,9 12,3 18,2 7,8	10,8 12,2 16,4 9,4

Fuente de variac.	S.C.	G.L.	C.M.	F
Situaciones	25,87	2	12,93	--
Profundidades	662,48	1	662,48	16,70*
S x P	76,81	2	38,40	--
Error Exp.	476,14	12	39,63	
Total	1241,30			

3. Tiempo de permanencia, 10 semanas

	C A	C R	P P
S	54,5 45,5 50 32	32 26,9 36,2 12,5	10,2 14,5 15,3 18
15	15,4 18,9 19,6 21,7	19,8 17,6 14,6 18,4	17 17,1 13,6 20,7

Fuente de variac.	S.C.	G.L.	C.M.	F
Situaciones	819,13	2	409,56	7,07*
Profundidades	554,44	1	554,44	9,57*
S X P	646,77	2	323,38	5,58*
Error Exp.	695,02	12	57,92	
Total	2715,36			

4. Tiempo de permanencia, 15 semanas

	C A		C R		P P	
S	56,5	49,8	50,1	44,8	31,3	24,2
	38,7		49,2		25,2	
	54,2		35,1		16,1	
15	27,3	32	15,2	16,5	19,2	16,2
	39,2		13,6		15	
	29,5		20,7		14,4	

Fuente de variac.	S.C.	G.L.	C.M.	F
Situaciones	1285,51	2	642,75	13,59*
Profundidades	1463,40	1	1463,40	30,94*
S x P	309,19	2	154,59	3,27
Error Exp.	567,62	12	47,30	
Total	3625,72			

5. Tiempo de permanencia, 18 semanas

	C A		C R		P P	
S	59,3	55,1	38,2	39,6	32,9	34,8
	50,9		44,1		36,1	
	---		36,5		35,4	
15	26,1	24,7	22,6	19,2	21,3	19,5
	31,2		14,2		12,2	
	16,8		20,8		25	

Fuente de variac.	S.C.	G.L.	C.M.	F
Situaciones	275,31	2	137,65	4,96*
Profundidades	1787,12	1	1787,12	64,40*
S x P	297,25	2	148,62	5,36*
Error Exp.	305,28	11	27,75	
Total	2664,96			

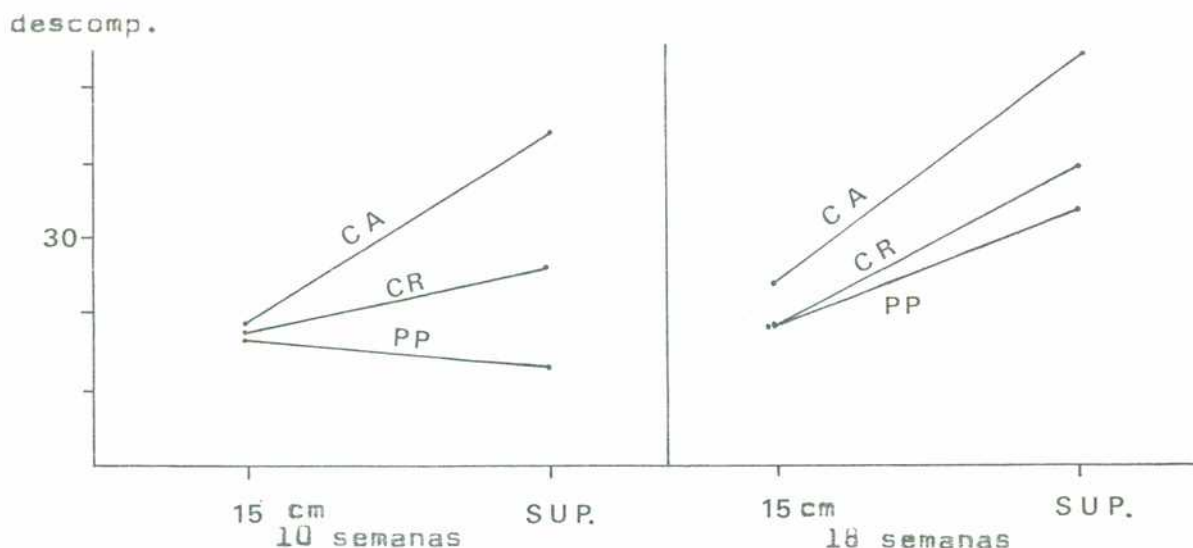


Figura II-40. Interacción entre situación y profundidad, a los tiempos de 10 y 18 semanas. Circunstantialmente, PP15 es mayor que PPS a 10 semanas.

La evaluación de los factores en estudio, habiendo interacción, puede continuarse entonces de dos maneras:

1. Aplicando sobre las medias de las subclases de cada cuadro de valores correspondiente a un tiempo de permanencia el método de comparaciones múltiples de Scheffé (6)

El mencionado define un valor crítico al nivel de significación deseado (5 %) que debe ser superado por las diferencias entre las medias de las subclases para que sean declaradas significativas. Este valor crítico se calcula del siguiente modo:

$$\Delta_{5\%} = \sqrt{(sp-1) F_{(sp-1; \sum(r-1)5\%)} \sqrt{CMEE \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r} \right)}}$$

donde s indica número de situaciones, p número de profundidades, r cantidad de datos unitarios dentro de las subclases, $CMEE$ cuadrado medio del error experimental y f se refiere a la distribución de Fisher. Se acostumbra volcar a una tabla de doble entrada las medias de las subclases, por columna en un sentido determinado y por fila en el orden contrario, calculándose las diferencias positivas entre los pares. Los resultados para los tiempos de permanencia de 3, 6, 10, 15 y 18 semanas se exponen en la tabla II-23.

El método de Scheffé trata a las subclases mencionadas como "sub poblaciones", definidas por la combinación de una determinada situación y una cierta profundidad. Lo que pone en evidencia es si, por cualquier causa que sea y fuera de la duda que plantea siempre la variabilidad experimental, existen diferencias significativas entre dichas subclases.

TABLA II-23. Comparaciones múltiples según Scheffé

1. Tiempo de permanencia, 3 semanas						
$\Delta_{5\%} = \sqrt{5 \times 3,11} \sqrt{10,88(1/3 + 1/3)} = 10,6$						
	$\bar{X} \rightarrow$	CAS 19,1	CA15 6,1	CRS 13,6	CR15 4,2	PPS 4,9
						PP15 4,9
PP15:	4,9	14,2*	1,2	8,7	0,7	0
PPS :	4,9	14,2*	1,2	8,7	0,7	
CR15:	4,2	14,9*	1,9	9,4		
CRS :	13,6	5,5	7,5			
CA15:	6,1	13 *				
CAS :	19,1					
2. Tiempo de permanencia, 6 semanas						
$\Delta_{5\%} = \sqrt{5 \times 3,11} \sqrt{39,68(1/3 + 1/3)} = 20,3$						
		CAS 25,2	CA15 8,2	CRS 24,8	CR15 12,3	PPS 19,1
						PP15 12,2
PP15:	12,2	13	4	12,6	0,1	6,9
PPS :	19,1	6,1	10,9	5,7	6,8	
CR15:	12,3	12,9	4,1	12,5		
CRS :	24,8	0,4	7,8			
CA15:	8,2	17				
CAS :	25,2					

3. Tiempo de permanencia, 10 semanas

$$\Delta_{5\%} = \sqrt{5 \times 3,11} \sqrt{57,92 (1/3 + 1/3)} = 24,5$$

	CAS	CA15	CRS	CR15	PPS	PP15
	45,5	18,9	26,9	17,6	14,5	17,1
PP15: 17,1	28,4*	1,8	9,8	0,5	2,6	
PPS : 14,5	31,0*	4,4	12,4	3,1		
CR15: 17,6	27,9*	1,3	9,3			
CRS : 26,9	18,6	8,0				
CA15: 18,9	26,6*					
CAS : 45,5						

4. Tiempo de permanencia, 15 semanas

$$\Delta_{5\%} = \sqrt{5 \times 3,11} \sqrt{47,30 (1/3 + 1/3)} = 22,1$$

	CAS	CA15	CRS	CR15	PPS	PP15
	49,8	32,0	44,8	16,5	24,2	16,2
PP15: 16,2	33,6*	15,8	28,6*	0,3	8,0	
PPS : 24,2	25,6*	7,8	20,6	7,7		
CR15: 16,5	33,3*	15,5	28,3*			
CRS : 44,8	5,0	12,8				
CA15: 32,0	17,8					
CAS : 49,8						

5. Tiempo de permanencia, 18 semanas

$$\Delta_{5\%} = \sqrt{5 \times 3,22} \sqrt{27,75(1/3 + 1/3)} = 17,3$$

$$\Delta_{5\%} = \sqrt{5 \times 3,22} \sqrt{27,75(1/2 + 1/3)} = 19,3^1$$

	CAS	CA15	CRS	CR15	PPS	PP15
	55,1	24,7	39,6	19,2	34,8	19,5
PP15: 19,5	35,6*	5,2	20,1*	0,3	15,3	
PPS : 34,8	20,3*	10,1	4,8	15,6		
CR15: 19,2	35,9*	5,5	20,4*			
CRS : 39,6	15,5	14,9				
CA15: 24,7	30,4*					
CAS : 55,1						

¹ Valor crítico para las comparaciones que involucren a CAS, donde el número de datos es 2.

A las 3 semanas, se manifiesta diferencia significativa entre la clausura antigua a nivel superficial y el pastizal pastoreado a 15 cm, lo cual en parte es esperable dado que se trata del par de combinaciones situación-profundidad más alejado entre sí, pero por otra parte llama la atención que dicha diferencia se muestre en tan corto tiempo. Más sorprendente es que haya diferencia entre la clausura antigua y el pastizal pastoreado, ambos al nivel superficial.

A las 6 semanas no aparece ninguna diferencia significativa, a pesar de que el análisis de la varianza indicaba lo contrario entre profundidades; el método de Scheffé es más exigente, como que en este caso toma en cuenta sólo la variabilidad dentro de las subclases sin atender a las causas de variación.

A las 10 semanas, hay diferencia significativa entre todas las subclases con respecto a la clausura antigua a nivel superficial, salvo la clausura reciente al mismo nivel; se diferencia del pastizal pastoreado a nivel superficial como de su propio nivel de 15 cm. El hecho de que a las 10 semanas todas las diferencias lo sean con respecto a la clausura antigua superficial, ocurriendo lo mismo en el caso de 3 semanas, habiendo en ambos interacción, y no haya ninguna diferencia significativa según Scheffé al tiempo de 6 semanas, donde no se detectó interacción, sugiere que buena parte de las diferencias observadas debe atribuirse a la interacción entre la situación de clausura prolongada al pastoreo y el nivel superficial, que potencia los valores de descomposición de la clausura antigua superficial alejándola de las demás combinaciones situación-profundidad.

Al tiempo de 15 semanas, ya se manifiestan diferencias fuera de las que involucran a la clausura antigua a nivel superficial, además de éstas. Aparece diferencia entre los niveles de la clausura reciente, cosa que no se detecta en el pastizal pastoreado ni en la clausura antigua. Esta se distingue del pastizal pastoreado, ambos a nivel superficial, lo cual, junto con la observación anterior concuerda con el análisis de la varianza, que arroja diferencias entre situaciones y profundidades. El hecho de que la interacción sea aquí significativa sólo al 10 %, y que el valor de descomposición de la clausura antigua a nivel superficial sea relativamente bajo -33,6- refuerza lo señalado anteriormente con respecto a la influencia de la interacción situación-profundidad en aquélla.

A las 18 semanas (tabla II-23) se dan diferencias significativas entre los niveles en ambas clausuras, no así en el pastizal pastoreado; entre la clausura antigua y el pastizal pastoreado a nivel superficial, aunque no entre ambas clausuras a ese nivel; y otras que interesan menos, tales como entre la clausura reciente a nivel superficial y el pastizal pastoreado a 15 cm de profundidad.

El método de Scheffé tiene valor tanto en lo que respecta a permitir hacer afirmaciones acerca de las diferencias entre los valores analizados como en cuanto a limitar esta posibilidad. Por ejemplo, a las 6 semanas la diferencia entre la clausura antigua a nivel superficial y el pastizal pastoreado es de 13,0 % , duplicando el porcentaje medio de descomposición de la primera al del último; sin embargo esa diferencia no es significativa. Esto se debe a que la dispersión de los datos es grande al tiempo de 6 semanas, por ejemplo el cuadrado medio del error experimental es 4 veces mayor con respecto al del tiempo de 3 semanas, lo que se traduce en un intervalo confidencial para las diferencias del doble en el primer caso con respecto al segundo (20,3 y 10,6 respectivamente). A las 3 semanas la diferencia resulta significativa. Esto demuestra la importancia de tratar estadísticamente los datos en este tipo de ensayos que se está considerando.

A pesar de que utilizando el método de Scheffé se han podido extraer y validar algunas relaciones entre los datos de descomposición a un tiempo fijo de permanencia en el suelo, puede sospecharse que se estén ocultando otras relaciones realmente significativas, dado que el método trabaja con un intervalo confidencial muy grande, como que engloba la variabilidad producida por los dos factores en estudio. Además, cuando se obtiene una diferencia significativa, no informa si ésta se debe a uno de ellos. Por tal razón, se seguirá el análisis de los datos recurriendo al test de t (Student, que se desarrolla a continuación.

2. Aplicando el test de t (Student) dentro de cada situación a un tiempo dado de permanencia

Se utiliza este test con objeto de estudiar el efecto de la profundidad de colocación de la muestra, en cada situación y siguiendo la mecánica de efectuar las pruebas considerando siempre un sólo tiempo de permanencia. Los resultados se exponen en la tabla II-24.

En la clausura antigua hay diferencia significativa entre las dos profundidades en cuatro de los cinco tiempos de permanencia. En la clausura reciente, esto se verifica en tres de los tiempos de permanencia; en el pastizal pastoreado, sólo en un tiempo, el de 18 semanas, se da una diferencia significativa, la cual lo es al nivel del 5%, mientras que dos de las consignadas en cada clausura lo son al 1 % . De lo señalado se desprende que la situación de clausura al pastoreo estimula la aparición de diferencias en la descomposición de celulosa entre el nivel superficial y el de 15 cm, como así también que el mayor tiempo de permanencia favorece la manifestación de diferencias: a las 18 semanas en las tres situaciones hay diferencia significativa, y la única que se produce en el pastizal pastoreado se da a ese tiempo.

Algunas diferencias detectadas por medio del test de t pasaron

TABLA II-24. Comparación entre los niveles superficial y profundo, para un mismo tiempo de permanencia, mediante el test de t (Student)

situación	tiempo de permanencia	t
clausura de 5 años	3 sem.	5,3**
	6	2,81*
	10	3,74*
	15	2,66
	18	6,25**
clausura de 6 meses	3	4,23*
	6	2,26
	10	1,25
	15	5,33**
	18	5,93**
pastizal pastoreado	3	0
	6	1,98
	10	0,85
	15	1,71
	18	3,9*

* nivel de significación del 5 %

** nivel de significación del 1 %

$$t_{(4)}(0,95) = 2,78$$

$$t_{(4)}(0,99) = 4,60$$

Para la clausura antigua al tiempo de 18 semanas, dado que una muestra no se recuperó y el número de datos es 5, los valores tabulados con los que corresponde comparar son los siguientes:

$$t_{(3)}(0,95) = 3,18 \quad / \quad t_{(3)}(0,99) = 5,84$$

desapercibidas para Scheffé: en la clausura antigua a las 6 semanas, en la reciente a las 3 semanas y el el pastizal pastoreado a las 18 semanas, todas ellas entre los niveles superficial y de 15 cm. La suposición de que utilizando Scheffé algunas relaciones que daban ocultas se confirma; el test de t resulta más sensible para el propósito de este estudio. Como observación lateral puede mencionarse que dio diferencias significativas el análisis de la varianza en los casos citados; en cuanto a la clausura antigua al tiempo de 6 semanas, la diferencia en ella entre ambos niveles es la única que se produjo a ese tiempo de permanencia, como se deduce de la tabla II-24, siendo la responsable de que el análisis de la varianza acuse diferencias entre profundidades.

Utilizar el test de t para establecer comparaciones entre las situaciones a un mismo nivel de colocación de las muestras, no parece adecuado en virtud de lo desarrollado hasta aquí. En particular el comportamiento de las diferencias entre niveles evidenciado por el test de t muestra que cada situación se manifiesta como un material experimental diferente.

Los métodos expuestos suministran información sobre las comparaciones efectuadas a un mismo tiempo de permanencia, brindando relaciones útiles al respecto. Sin embargo, ésta se restringe a los tiempos considerados, permitiendo muy poca generalización al conjunto de cada experiencia. Para lograr conclusiones más generales, es necesario involucrar todos los tiempos de permanencia en el suelo. Una media de la descomposición porcentual para cada ensayo, como elemento de comparación, no tiene valor porque ya se ha mostrado que la degradación de la celulosa está fuertemente relacionada con el tiempo de permanencia.

El parámetro que aparece como el mejor descriptor de la descomposición acumulativa de la celulosa en el suelo sobre el tiempo total de cada ensayo es k , que puede interpretarse como una tasa intrínseca de descomposición. Dado que fue calculada como un coeficiente de regresión, pueden realizarse comparaciones entre distintos k por medio de métodos de comparación de aquéllos. La seguridad con que es establecido un coeficiente de regresión depende del número de datos utilizados para determinarlo y de la dispersión de estos alrededor de la recta de regresión, factores que también rigen las comparaciones que puedan hacerse entre dos coeficientes con objeto de decidir si son significativamente diferentes.

Se utiliza para efectuar comparaciones entre los k una modificación del test de t conocida como "método de la varianza" (5). Los resultados se exponen en la tabla II-25.

La tasa de descomposición k es mayor en la clausura antigua (de 5 años) con respecto al pastizal pastoreado, ambos a nivel superficial, siendo la diferencia significativa al nivel del 1%. También

TABLA II-25. Comparación de los parámetros k, mediante el test de t (Student), modificación método de la varianza

$$t_v = \sqrt{\frac{(b_1 - b_2)^2}{\frac{\sum (y_1 - \hat{y}_1)^2 + \sum (y_2 - \hat{y}_2)^2}{n_1 + n_2 - 4} \left[\frac{1}{\sum (x_1 - \bar{x}_1)^2} + \frac{1}{\sum (x_2 - \bar{x}_2)^2} \right]}}$$

b_1 y b_2 (coeficientes de regresión) corresponden a los k que se comparan.

Comparación entre los k correspondientes a	t_v
CAS - CRS	2,21*
CAS - PPS	4,19**
CRS - PPS	1,85
CA15 - CR15	2,51*
CA15 - PP15	2,52*
CR15 - PP15	N.S.
CAS - CA15	4,33**
CRS - CR15	4,08**
PPS - PP15	3,01**
<p>Valor tabulado para $n_1 + n_2 - 4$ grados de libertad: 2,04 y 2,75 (nivel de significación del 5 % y del 1 % respectivamente)</p>	

es mayor la primera con respecto a la clausura reciente (de 6 meses) a nivel superficial (D.S. al 5 %). El k de esta última es mayor en valor absoluto que el del pastizal pastoreado a nivel superficial (0,0302 y 0,0210 respectivamente), pero la diferencia entre ambos no es significativa al 5 %, aunque sí lo es al 10 %. Estos resultados confirman plenamente los obtenidos en el ensayo preliminar (cf. II.2.3.): la clausura reciente participa en mayor medida de las características del pastizal pastoreado, por lo cual la diferencia de los k con la clausura antigua es significativa. Pero se está alejando del pastizal pastoreado, razón por la cual la diferencia entre los k es ya suficiente para alcanzar el nivel del 10 %.

A la profundidad de 15 cm, se repite simétricamente la situación anterior. El k de la clausura antigua es mayor que el k del pastizal pastoreado (D.S. al 5 %), como así también es mayor que el de la clausura reciente (D.S. al 5 %). La diferencia entre los k de esta última y del pastizal pastoreado es no significativa y además es casi nula, lo cual evidencia nuevamente que las discrepancias se magnifican a nivel superficial entre las áreas y se minimizan a la profundidad de 15 cm.

Analizando, dentro de la clausura antigua, el k correspondiente al nivel superficial y el k de la profundidad de 15 cm, se determina que la diferencia entre ambos es significativa al 1 %. En la clausura reciente, los k correspondientes al nivel superficial y profundo, 0,0302 y 0,0115 en valor absoluto respectivamente, también arrojan una diferencia significativa al 1 % entre ellos. En el pastizal pastoreado, donde la diferencia entre los k de ambos niveles es menor, la diferencia entre estos es asimismo significativa al 1 %. Es decir, en las tres áreas la descomposición es sin duda mayor a nivel superficial.

En conclusión, la clausura de 5 años presenta un comportamiento netamente diferente en cuanto a la descomposición de celulosa con respecto a la clausura de 6 meses y el pastizal pastoreado, y la profundidad de enterramiento de las muestras tiene en todos los casos una influencia decisiva sobre la tasa de descomposición.

Evidentemente, k , calculado sobre un cierto número de datos unitarios e involucrando el tiempo total de cada experimento, resulta el parámetro más útil y confiable para efectuar comparaciones entre los ensayos. Más allá de pequeñas incongruencias aparecidas en las comparaciones realizadas a un mismo tiempo de permanencia, el coeficiente k parece "captar" las verdaderas diferencias en la degradación de celulosa en un área sobre un determinado período de tiempo.

II.5. ESTIMACION DEL APORTE DE BROZA AL SUELO

En el estudio de los sistemas ecológicos, una de las estrategias predominantes consiste en la división del sistema en compartimientos, indagándose entonces los flujos de materiales y energía entre estos. En las investigaciones sobre pastizales, es importante conocer el ritmo de transferencia de materia orgánica al suelo, con el objeto entre otras consideraciones de ajustar las estimaciones de la productividad. Se intenta en esta sección aprovechar las determinaciones realizadas sobre descomposición de celulosa para inferir el aporte de broza al suelo en el pastizal estudiado.

La manera más exacta de calcular el aporte de broza al suelo consistiría en efectuar recolecciones de ésta con la mayor frecuencia posible, por ejemplo semanalmente, de tal modo de determinar la caída total en un período dado de tiempo mediante las diferencias. Si esto resulta demasiado laborioso, una alternativa sería hacer solamente dos recolecciones, una al principio y otra al final del lapso considerado, y determinar asimismo la descomposición de la broza operada durante el mismo por medio del estudio de la degradación ocurrida en bolsas de hojarasca, o sea porciones de este material encerradas en sobres de algún elemento no descomponible enterradas en el suelo. Llamando A a la broza presente inicialmente, B al aporte desconocido durante el período y C a la recolectada al final, se obtendría la siguiente relación

$$C = A_r + B$$

siendo A_r la broza remanente de la inicial, que habiendo determinado la tasa de descomposición se calcula mediante

$$A_r = A (1-TD)$$

siendo TD la tasa de descomposición. En definitiva resulta, combinando las ecuaciones anteriores

$$\begin{aligned} C &= A (1-TD) + B \\ \text{y} \quad B &= C - A (1-TD) \end{aligned} \quad (6)$$

De esta manera, simple desde el punto de vista del cálculo, se puede determinar el aporte de broza al suelo.

La dificultad que aparece es la siguiente: si no se utilizan técnicas basadas en el uso de radioisótopos, la determinación de la tasa de descomposición de la broza se hace con un alto grado de error, debido entre otras causas a la heterogeneidad del material y a la dependencia que muestra del tamaño de la malla de la envoltura y de la relación entre las dimensiones lineales (largo, ancho y espesor) de las bolsas.

Una alternativa posible sería reemplazar la tasa de descomposición de broza por otra que resulte más fácil de hallar, por ejemplo por la tasa de descomposición de celulosa. Esto sería válido si ambas se aproximan lo suficiente como para permitir intercambiarlas y utilizar esta última en lugar de la primera. En cortos períodos de tiempo de permanencia del material degradable en el suelo, esto parece ser así, en ecosistemas de pastizal, donde la proporción en que las hierbas están compuestas por celulosa es de hasta el 60 %, de hemicelulosa de hasta el 30 (13) y al contenido de lignina es muy bajo. Los prótidos y glúcidos de los tejidos vegetales se descomponen muy rápidamente, en el orden de días (9), operando luego la degradación de la celulosa y hemicelulosa, en el término de meses, restando finalmente la destrucción de la lignina, que puede demandar años (9) (22). Los prótidos y glúcidos casi no llegan a estar presentes en la broza, de manera que la pérdida de masa de ésta en los primeros meses de su estadía en el suelo se opera casi toda sobre las celulosas. En un pastizal natural de Saskatchewan, Canadá, Paul (1974) determinó valores de k (logaritmo natural del porcentaje de descomposición/semana) muy próximos para tiras de celulosa y restos vegetales preparados con especies nativas, utilizando para el último caso carbono-14. El k de la celulosa fue de -0,0249/semana, enterrando las muestras en mayo y dejándolas durante 15 semanas con retiros escalonados. El k de los restos vegetales fue de -0,0267, colocando el material en mayo de otro año y permaneciendo en el suelo durante 21 semanas. La diferencia entre ambos valores fue del 7,2 %. En virtud de lo expuesto, por lo tanto, se utilizará la tasa de descomposición de celulosa en reemplazo de la tasa de descomposición de broza, en los cálculos que se expondrán más adelante.

En la ecuación (6), puede mejorarse sustancialmente su ajuste a la realidad, en base a las siguientes consideraciones. El aporte de broza al suelo, B , sufre asimismo un proceso de descomposición. La broza presente inicialmente, A , está sujeta a la degradación sobre la totalidad del material y durante todo el período de tiempo en el que se hace la determinación. Pero el aporte B se hace en forma escalonada: cada porción llega al suelo en un momento determinado y permanece en él el resto del lapso considerado. Por lo tanto, los tiempos de permanencia de cada porción de broza y en definitiva el grado de destrucción que sufre varían. El remanente total de ese aporte B , que simbolizaremos B_r , no puede por lo tanto calcularse tan fácilmente como se determinó A_r . B_r se relaciona con B de la siguiente forma

$$B_r = B \cdot R \quad (7)$$

donde R es el remanente porcentual del aporte de broza B . Al final del período considerado, la cantidad de broza presente en el suelo C será igual a lo remanente de la inicial, A_r , más lo remanente del aporte, B_r . O sea

$$\begin{aligned}
 C &= A_r + B_r \\
 \text{por (7)} \quad C &= A_r + B R \\
 \text{y} \quad B &= \frac{C - A_r}{R} \quad (8)
 \end{aligned}$$

Esta es la misma ecuación (6), pero reescrita tomando en consideración la descomposición sufrida por el aporte de broza. A_r puede calcularse por medio de la ecuación $r = r_0 e^{-kt}$, ya que se ha optado por utilizar la tasa intrínseca de descomposición de la celulosa; resulta, por lo tanto

$$A_r = A e^{-kt} \quad (9)$$

Para desarrollar el cálculo de R , necesario para determinar el aporte B por (8), se hará referencia al caso concreto en estudio, donde el tiempo entre la recolección inicial de broza (A) y final (C) fue de 18 semanas, coincidiendo con los ensayos descritos en II.3.1 a II.3.7. en base a los cuales fueron determinados los valores de k . Si se asume como supuesto que la caída de broza se produce en forma regular y constante durante la experiencia, tomando como unidad de tiempo la semana se tendrá que el aporte por semana resulta igual a $B/18$. La broza caída cada semana llegará al término del período como un remanente, que será igual a

$$\frac{B}{18} \cdot r = b_r^i$$

r variará de acuerdo con el momento de llegada de la porción de broza al suelo (t) lo que a su vez determina el tiempo disponible para que opere la degradación ($18 - t$); resultará

$$r = e^{-k(18-t)}$$

$$\text{y por lo tanto} \quad b_r^i = \frac{B}{18} e^{-k(18-t)} \quad (10)$$

La sumatoria de estos remanentes del aporte de broza de cada semana dará el remanente total del aporte de broza del período, o sea

$$B_r = \sum b_r^i = \sum_{t=1}^{18} \frac{B}{18} e^{-k(18-t)}$$

sacando fuera de la sumatoria las constantes

$$B_r = \frac{B}{18} \sum_{t=1}^{18} e^{-k(18-t)} \quad (11)$$

(7) y (11) pueden igualarse entre sus segundos miembros por B_r . Resulta

$$B \cdot R = \frac{B}{18} \sum_{t=1}^{18} e^{-k(18-t)}$$

resulta

$$R = \frac{1}{18} \sum_{t=1}^{18} e^{-k(18-t)} \quad (12)$$

Para el caso de la clausura de 5 años, en donde $k = -0,0451$, el desarrollo de la ecuación anterior es, resolviendo la sumatoria

$$R = \frac{1}{18} \left[0,464 + 0,486 + 0,508 + 0,532 + 0,556 + 0,582 + 0,609 + \right. \\ \left. + 0,637 + 0,666 + 0,697 + 0,729 + 0,763 + 0,798 + 0,835 + \right. \\ \left. + 0,873 + 0,914 + 0,956 + 1,000 \right] = \\ R = \frac{1}{18} [12,607] = 0,700$$

Obtenido R, puede resolverse la ecuación (8), donde los demás parámetros son conocidos. Esta, desarrollada en todos sus términos, resulta, por (9) y por (12)

$$B = \frac{C - A e^{-k18}}{\frac{1}{18} \sum_{t=1}^{18} e^{-k(18-t)}} \quad (13)$$

La broza recogida al comienzo y al final de los ensayos en las tres situaciones (cf. II.3.1.) fue secada, pesada y calcinada⁸, obteniéndose 4 repeticiones. Los datos unitarios se consignan en la tabla II-26.

El valor que se obtiene de esta forma para la clausura de 5 años es de 113,6 gramos/metro cuadrado, o, lo que es equivalente, 1.136 kilogramos /hectárea.

En estudios realizados en el mismo pastizal en condiciones de clausura al pastoreo por un período de cuatro años, se ha obtenido un valor promedio de caída de broza de 6.56 kg/ha/día (0,656 g/ m. cuadrado/día) en un lapso de 74 días (8/8 al 21/10/1975) (Sala, O. et al., 1978). La época del año de esta determinación se halla comprendida dentro de la del presente trabajo (25/7 al 1/12/1977). Generalizando ese promedio al total del tiempo de este ensayo, 18 semanas (129 días), se obtiene un valor de caída de broza total de 84,6 g/m. cuadrado (846 kg/ha). Este valor se aproxima relativamente al aporte de broza hallado más arriba, y esto permite concluir que el método propuesto brinda una estimación plausible de la formación de broza. La diferencia entre ambos datos puede atribuirse a que se refieren a años distintos; por otra parte, es razonable que el valor citado resulte menor porque se basa en las diferencias entre cosechas, no considerando la descomposición, lo que se traduce en una subestimación de la producción de broza.

TABLA II-26. Recolección de broza, datos unitarios

Fue recogida la broza comprendida en un marco de alambre, arrojando éste al azar; se efectuaron 4 repeticiones.

1. Clausura de 5 años

1.a. Recolección al comienzo del período de ensayo; marco de 30,5 x 15,5 cm.

Peso seco	cenizas	peso seco libre de cenizas	peso seco libre de cenizas por metro cuadrado
5,9629 g	1,5130 g	4,4499 g	94,1 g
5,7239 g	0,9934 g	4,7305 g	100,1 g
4,9377 g	0,9875 g	3,9502 g	83,6 g
4,0960 g	1,1910 g	2,9050 g	61,4 g

$$\bar{X} = 84,8 \text{ g/m}^2 = 848 \text{ kg/ha}$$

1.b. Recolección al final del período de ensayo; marco de 31 x 31 cm.

Peso seco	cenizas	peso seco libre de cenizas	peso seco libre de cenizas por metro cuadrado
19,7968 g	4,5919 g	15,2049 g	158,2 g
13,7170 g	3,0173 g	10,6997 g	111,3 g
12,5415 g	3,2721 g	9,2694 g	96,4 g
12,4853 g	2,6077 g	9,8776 g	102,8 g

$$\bar{X} = 117,2 \text{ g/m}^2 = 1172 \text{ kg/ha}$$

2. Clausura de 6 meses

2.a. Recolección al comienzo del período de ensayo; marco de 30,5 x 15,5 cm

Peso seco	cenizas	peso seco libre de cenizas	peso seco libre de cenizas por metro cuadrado
1,5084 g	0,3502 g	1,1582 g	24,5 g
1,5600 g	0,4821 g	1,0779 g	22,8 g
1,2236 g	0,2923 g	0,9313 g	19,7 g
1,2081 g	0,3666 g	0,8415 g	17,8 g

$$\bar{X} = 21,2 \text{ g/m}^2 = 212 \text{ kg/ha}$$

2.b. Recolección al final del período de ensayo; marco de 31 x 31 cm

Peso seco	cenizas	peso seco libre de cenizas	peso seco libre de cenizas por metro cuadrado
5,0274 g	1,2122 g	3,8152 g	39,7 g
5,7503 g	1,7621 g	3,9882 g	41,5 g
6,4248 g	2,2060 g	4,2188 g	43,9 g
5,3435 g	0,9133 g	4,4302 g	46,1 g

$$\bar{X} = 42,8 \text{ g/m}^2 = 428 \text{ kg/ha}$$

3. Pastizal pastoreado

3.a. Recolección al comienzo del período de ensayo; marco de 30,5 x 15,5 cm

Peso seco	cenizas	peso seco libre de cenizas	peso seco libre de cenizas por metro cuadrado
0,6911 g	0,1711 g	0,5200 g	11,0 g
1,0243 g	0,3671 g	0,6572 g	13,9 g
0,8950 g	0,2898 g	0,6052 g	12,8 g
1,2660 g	0,5332 g	0,7328 g	15,5 g

$$\bar{X} = 13,3 \text{ g/m}^2 = 133 \text{ kg/ha}$$

3.b. Recolección al final del período de ensayo; marco de 31 x 31 cm

Peso seco	cenizas	peso seco libre de cenizas	peso seco libre de cenizas por metro cuadrado
3,8157 g	1,2691 g	2,5466 g	26,5 g
3,4279 g	1,0062 g	2,4217 g	25,2 g
3,7622 g	0,9945 g	2,7677 g	28,8 g
2,8229 g	0,9874 g	1,8355 g	19,1 g

$$\bar{X} = 24,9 \text{ g/m}^2 = 249 \text{ kg/ha}$$

De la misma forma que se ha calculado B para la clausura antigua, se han obtenido las estimaciones del aporte de broza para la clausura reciente y el pastizal pastoreado. Estos datos, junto con las determinaciones inicial y final de broza (A_0 y C respectivamente), se reúnen en la tabla II- 27.

	clausura de 5 años	clausura de 3 meses	pastizal pastoreado
C	117,2 g/m ² 1117 kg/ha	42,8 g/m ² 428 kg/ha	24,9 g/m ² 249 kg/ha
A_0	84,8 g/m ² 848 kg/ha	21,2 g/m ² 212 kg/ha	13,3 g/m ² 133 kg/ha
B	113,6 g/m ² 1136 kg/ha	38,9 g/m ² 389 kg/ha	18,8 g/m ² 188 kg/ha

TABLA II-27

Se aprecia una gran diferencia entre el aporte de broza en la clausura antigua y las otras dos situaciones, que resulta ser de 3 veces el aporte en la clausura reciente y de 6 veces el del pastizal pastoreado. A su vez, el aporte de la clausura reciente duplica al del pastizal pastoreado. Proporciones parecidas se observan entre los valores iniciales y finales de broza. La caída de broza depende de la aparición de material seco en pie, que a su vez depende de la biomasa verde. En el estudio citado más arriba, el promedio de peso vivo en el área clausurada fue de alrededor de 2000 kg/ha (200 g/m²), la cual había permanecido 4 años privada de grandes herbívoros. En la clausura de 5 años el aspecto era el de un pastizal alto y denso, con una visible acumulación de broza sobre el suelo, con elevada densidad de plantas. El pastizal pastoreado y en gran medida la clausura reciente se presentaban como un pastizal muy bajo y abierto, sin broza evidente sobre la superficie.

La clausura reciente muestra, a pesar de que se mantiene muy distante de la clausura antigua, una rápida reacción hacia la acumulación de broza, la que parece ser comparativamente mayor que su incremento de la capacidad de degradar la celulosa, ambos procesos siempre en relación con el pastizal pastoreado. Es razonable que ocurra así, porque mientras que la tasa de descomposición de celulosa depende de un gran número de factores, principalmente edáficos, que se van modificando lentamente, la acumulación de broza depende de un encadenamiento de flujos. Al cortarse el flujo de biomasa verde hacia los herbívoros, el nivel de ésta empieza a aumentar, con lo cual al poco tiempo el incremento se traslada a la aparición de material seco y éste finalmente produce un aumento en la cantidad de broza.

II.6. Datos climáticos y de humedad del suelo

La humedad del suelo y la temperatura, del aire o del suelo, pueden estar correlacionados con el ritmo de descomposición de celulosa. Aunque dentro de ciertos rangos de valores de estos factores la descomposición no manifiesta correlación con ellos (Paul, 1974).

En la figura II-41 se presentan el climadiagrama y climatograma de la localidad de Dolores, que es el lugar más cercano al área de estudio que cuenta con este tipo de información.

En la figura II-42 se exponen los valores de potencial agua del suelo, obtenidos en la propia área de estudio.

Las áreas con déficit hídrico de la figura II-41 son pequeñas, predominando ampliamente los períodos húmedos. Los datos de potencial agua de la figura II-42 son relativamente bajos. Por lo tanto, la temperatura y la humedad del suelo no parecen tener importancia como factores limitantes de la descomposición de celulosa. Constituirían una situación especial los períodos de sequía o de inundaciones; en este último caso podrían darse condiciones de anaerobiosis que dificultarían la degradación microbiana, que es principalmente aeróbica.

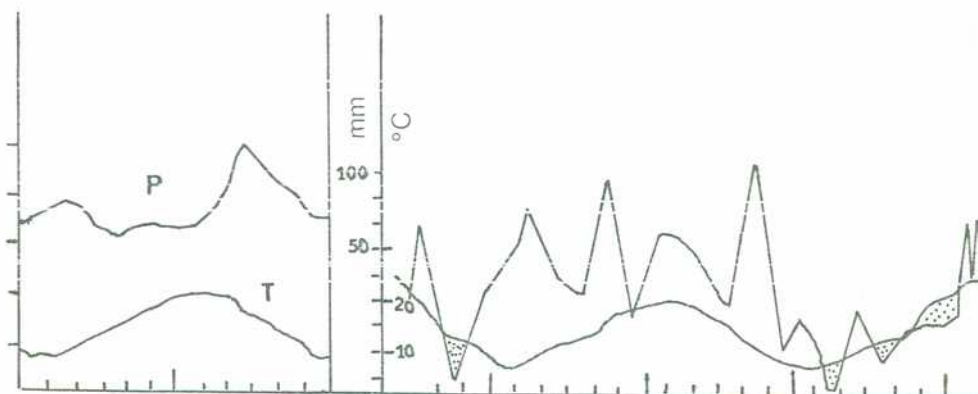


Figura II- . Climadiagrama y climatograma de Dolores (Walter, 1967, reproducido por Sala, Soriano y Perelman, 1981). Áreas punteadas: déficit hídrico. Áreas claras: períodos relativamente húmedos.

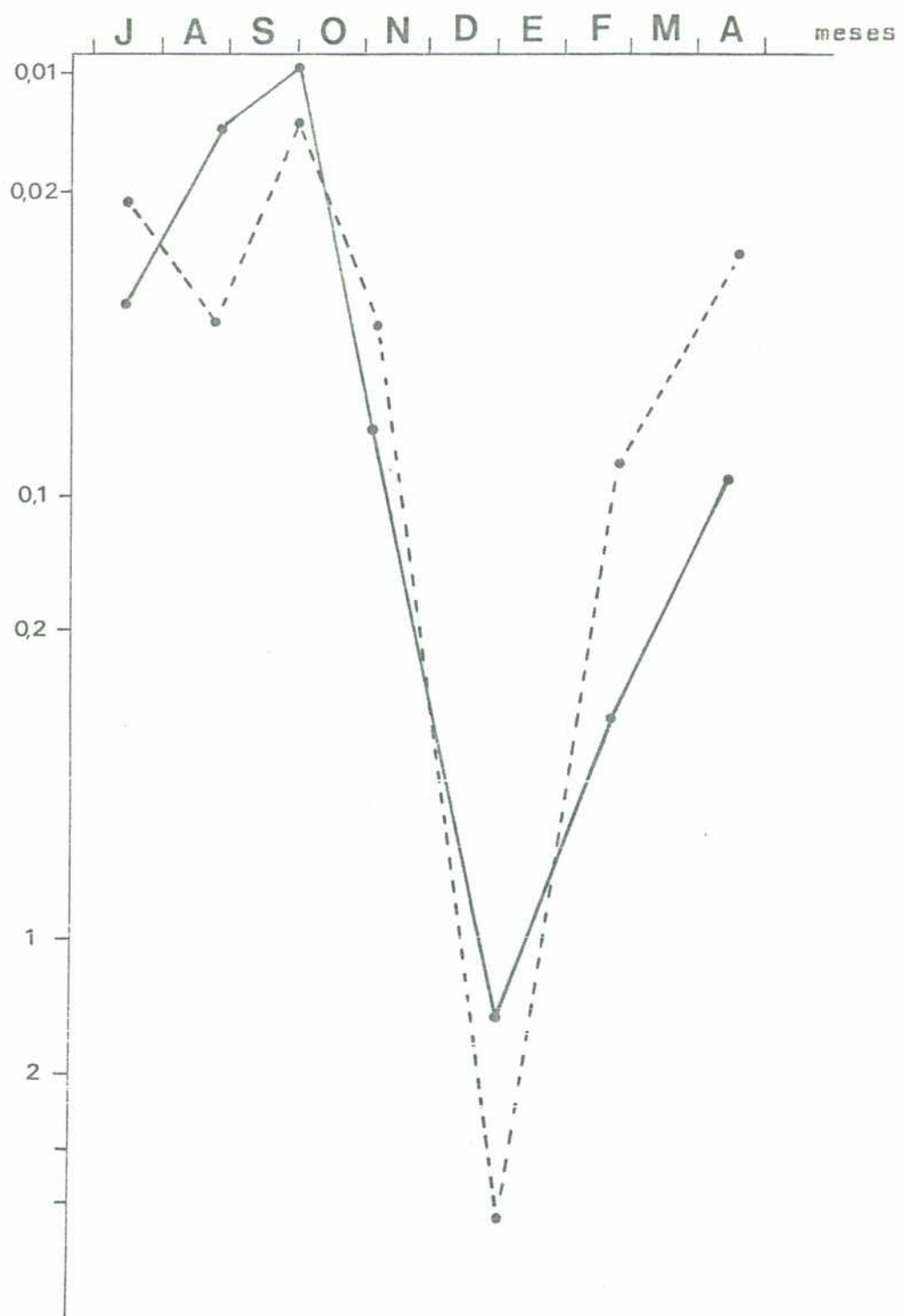


Figura II-42. Potencial agua del suelo. —, 0-5 cm
 ----, 10-15 cm. (Tomado de Sala, Soriano y Perelman,
 1981)

III. ENSAYOS DE DESCOMPOSICION DE CELULOSA EN UN PASTIZAL DE COIRON AMARGO DEL SUDDESTE DE CHUBUT

Ensayos de descomposición de celulosa, utilizándose papel de filtro como material de prueba, fueron realizados en un pastizal de coirón amargo (*Stipa* spp.), dentro de un área clausurada al pastoreo durante 4 años, ubicada en la Estación Experimental del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Río Mayo, Chubut.

Este pastizal ha sido caracterizado por Soriano (1976)(36), en estos términos:

"El pastizal de coirón amargo, tal como se presenta en el SW de Chubut, constituye una comunidad ampliamente representada en el distrito Occidental de la Patagonia. Las especies dominantes son *Stipa speciosa*, *S. humilis*, *Poa ligularis*, acompañadas en el estrato arbustivo por *Mulinum spinosum*, *Senecio filaginoides* y *Adesmia campestris*."

Los promedios diarios de la temperatura del aire y del suelo, y los datos de precipitación de lluvia y nieve se representan en la figura III-1.

Las muestras de papel de filtro (Ederol Nº 75 de 11 cm de diámetro) fueron incluidas en sobres de tejido plástico de 2,5 mm de abertura de malla. No se adicionó nitrógeno inorgánico como en el caso de los ensayos realizados en la Depresión del Salado (cf. II.2.). Fueron enterradas en el suelo, a una profundidad comprendida entre 5 y 10 cm, permaneciendo por períodos que variaron de 2½ a 28 meses. Una vez retiradas las muestras fueron conservadas a -20°C hasta su procesamiento, en los últimos meses de 1977.*

Las muestras fueron tratadas de la misma forma ya descripta (cf. II.2.) luego de ser desenterradas; también en este caso se determinó el contenido de cenizas del material original. Los datos unitarios de descomposición de celulosa se han reunido en la tabla III-1, mientras que las fechas de colocación y extracción, la descomposición porcentual media y el error standard respectivo se ordenan en la tabla III-2.

Los resultados obtenidos son relativamente contradictorios. A un tiempo de permanencia de 2,6 meses (11,1 semanas) corresponde un valor muy bajo de descomposición, que resulta coherente con las características climáticas de la región, con precipitaciones meno-

* La preparación, colocación y extracción de las muestras fueron efectuadas por personal de la Cátedra de Fisiología Vegetal y Fitogeografía de la Facultad de Agronomía de Buenos Aires.

TABLA III-1. Datos unitarios de descomposición de celulosa.

Todos los pesos en gramos.

	identificación de la muestra	peso seco original	contenido de celulosa original	peso seco del material recuperado	cenizas del material recuperado	celulosa remanente libre de cenizas	descomposición porcentual
permanencia: 94,3 semanas cenizas del material original: 0,46 % del peso seco	8	0,6439	0,6409	---	---	---	100
	16	0,6410	0,6380	---	---	---	100
	1	0,6627	0,6596	---	---	---	100
	7	0,6483	0,6453	---	---	---	100
	12	0,6369	0,6340	0,0272	0,0171	0,0101	98,4
	17	0,6349	0,6320	---	---	---	100
	5	0,6427	0,6397	---	---	---	100
	4	0,6426	0,6396	---	---	---	100
	19	0,6449	0,6419	---	---	---	100
	9	0,6382	0,6353	---	---	---	100
	6	0,6397	0,6368	---	---	---	100
	15	0,6612	0,6582	0,3316	0,2786	0,0530	92,0
	3	0,6358	0,6329	---	---	---	100
	11	0,6490	0,6460	0,0711	0,0530	0,0181	97,2
	18	0,6477	0,6447	---	---	---	100
	13	0,6368	0,6339	---	---	---	100
	14	0,6523	0,6493	---	---	---	100
	10	0,6516	0,6486	---	---	---	100
	2	0,6373	0,6344	---	---	---	100

Todos los pesos en gramos.

	identificación de la muestra	peso seco original	contenido de celulosa original	peso seco del material recuperado	cenizas del material recuperado	celulosa remanente libre de cenizas	descomposición porcentual
permanencia: 120 semanas cenizas del material ori ginal: 0,46% del peso seco	4	625	0,622	0,0370	0,0175	0,0195	96,9
	9	0,651	0,648	---	---	---	100
	15	0,654	0,651	---	---	---	100
	14	0,635	0,632	0,0814	0,0521	0,0293	95,4
	2	0,665	0,662	---	---	---	100
	8	0,667	0,664	---	---	---	100
	10	0,669	0,666	0,0228	0,0102	0,0126	98,1
	5	0,618	0,615	0,1923	0,1664	0,0259	95,8
	17	0,647	0,644	0,0117	0,0071	0,0046	99,3
	1	0,665	0,662	---	---	---	100
permanencia: 24,4 semanas cenizas del material ori ginal: 0,46%	3	0,654	0,651	0,9940	0,8500	0,1440	77,8
	2	0,663	0,660	0,9740	0,5630	0,4110	37,7
	6	0,646	0,643	0,8610	0,6900	0,1710	73,4
	9	0,634	0,631	0,8610	0,5680	0,2930	53,6
	7	0,654	0,651	0,4620	0,2280	0,2340	64,0
permanencia: 11,1 semanas cenizas del material ori ginal: 0,46%		0,6313	0,6284	0,7277	0,1277	0,6000	4,5
		0,6150	0,6122	0,6676	0,0564	0,6112	0,1
		0,6232	0,6203	0,8391	0,2907	0,5484	11,6
		0,6174	0,6146	0,6230	0,0122	0,6108	0,6
		0,6397	0,6368	0,7814	0,1708	0,6106	4,1

Todos los pesos en gramos.

	identificación de la muestra	peso seco original	contenido de celulosa original	peso seco del material recuperado	cenizas del material recuperado	celulosa remanente libre de cenizas	descomposición porcentual	
permanencia: 107,1 semanas cenizas del material ori ginal: 0,46% del peso seco	2	0,6462	0,6432	0,5819	0,5307	0,0512	92,0	
	4	0,6242	0,6213	0,5119	0,4571	0,0548	91,2	
	6	0,6209	0,6180	2,7347	2,5474	0,1873	69,7	
	7	0,6362	0,6333	2,2773	1,9994	0,2779	56,1	
	8	0,6202	0,6173	1,1625	1,0075	0,1550	74,9	
	9	0,6270	0,6241	3,0646	2,8250	0,2396	61,6	
	10	0,6259	0,6230	0,1631	0,1312	0,0319	94,9	
	12	0,6208	0,6179	0,8645	0,7228	0,1417	77,1	
	13	0,6512	0,6482	0,1605	0,1469	0,0136	97,9	
	14	0,6371	0,6341	0,9951	0,8659	0,1292	79,6	
	15	0,6461	0,6431	1,7415	1,5550	0,1865	71,0	
	17	0,6329	0,6300	1,6090	1,3502	0,2588	58,9	
	18	0,6280	0,6251	2,0441	1,8152	0,2289	63,4	
	20	0,6422	0,6392	3,3237	3,1402	0,1835	71,3	

TABLA III-2. Valores medios de descomposición de celulosa.
Parámetros de regresión

período de permanencia en el suelo	tiempo, semanas	descomposición porcentual media	error standar
dic/75 - oct/77	94,3	99,3	0,85
jun/75 - oct/77	120	98,5	0,60
18/6/75-10/12/75	24,4	61,3	7,20
23/9/75-10/12/75	11,1	4,2	2,06
sept/75-oct/77	107,1	75,7	3,69

Parámetros de regresión:

1. Incluyendo los datos de 100% de descomposición, como remanente = 0,0001 gramos.

$$B = -0,0724 \quad A = 4,5133$$

2. Excluyendo los datos de 100% de descomposición

$$B = -0,0221 \quad A = 4,5859$$

Valores estimados de descomposición porcentual (d)

tiempo, semanas	0	10	20	50	100	120
$k = -0,0724$	8,8	55,8	78,6	97,6	100	100
$k = -0,0221$	1,9	21,4	36,9	67,5	89,2	93,1

res que 250 mm anuales. Este valor, 4,2 %, no guarda proporción con la descomposición media registrada luego de un tiempo de permanencia de 5,7 meses (24,4 semanas), que fue de 61,3 %. Este último inclusive resulta demasiado elevado en relación con la descomposición media del conjunto de muestras que fue mantenido 25 meses (107,1 semanas) en el suelo, que es igual a 75,7 %.

Las muestras con mayores tiempos de permanencia, 22 meses (94,3 semanas) y 28 meses (120 semanas), exhiben valores medios de descomposición similares y coherentes entre sí: la diferencia entre los tiempos de permanencia es pequeña con respecto al lapso total de enterramiento de las muestras, y es razonable que no se den diferencias significativas entre ambos conjuntos. Sin embargo, ellos contrastan con el valor medio de descomposición correspondiente a 25 meses, ya mencionado, de 75,7 % solamente.

Llama la atención el hecho de que, a pesar de lo señalado, cada valor de descomposición media es relativamente confiable en sí mismo, dado que la dispersión de los datos alrededor de su media es baja en comparación con otros ensayos de descomposición, tanto los expuestos en este trabajo como los conocidos por la consulta de la bibliografía; el error standard también es pequeño.

Caben dos interpretaciones sobre lo expuesto. La primera se relaciona con la preparación de las muestras, a las que no se les adicionó nitrógeno. Esto puede condicionar fuertemente el proceso de descomposición, que necesita este elemento y queda sujeto a su provisión por parte del suelo, la cual puede variar mucho de un punto a otro en la misma área, comportándose de este modo en forma no homogénea en cuanto a su capacidad de degradación. Esta suposición se ve reforzada por el hecho de que cada lote de muestras evidenció alta coherencia interna (baja dispersión de los datos), es decir, cada valor medio es bien representativo de las condiciones imperantes en su lugar de colocación en cuanto a la degradación de celulosa.

La segunda interpretación se vincula con el momento del enterramiento de las muestras y la temperatura y el potencial agua del suelo que se registraban en aquél. Los datos de temperatura del suelo pueden verse en la figura III-1, los de potencial agua se presentan en la figura III-2; corresponden a promedios de observaciones realizadas durante 5 a 7 días consecutivos, en 5 fechas distribuidas durante el año (Soriano, 1976).

De la observación de las figuras mencionadas se desprende que el período favorable para que se produzca la degradación de las muestras se restringe a una pequeña parte del año. Una época en que las condiciones son propicias es a partir de septiembre, cuando la temperatura no es muy alta ni muy baja y la fusión de la nieve mantiene el potencial agua cercano a cero.

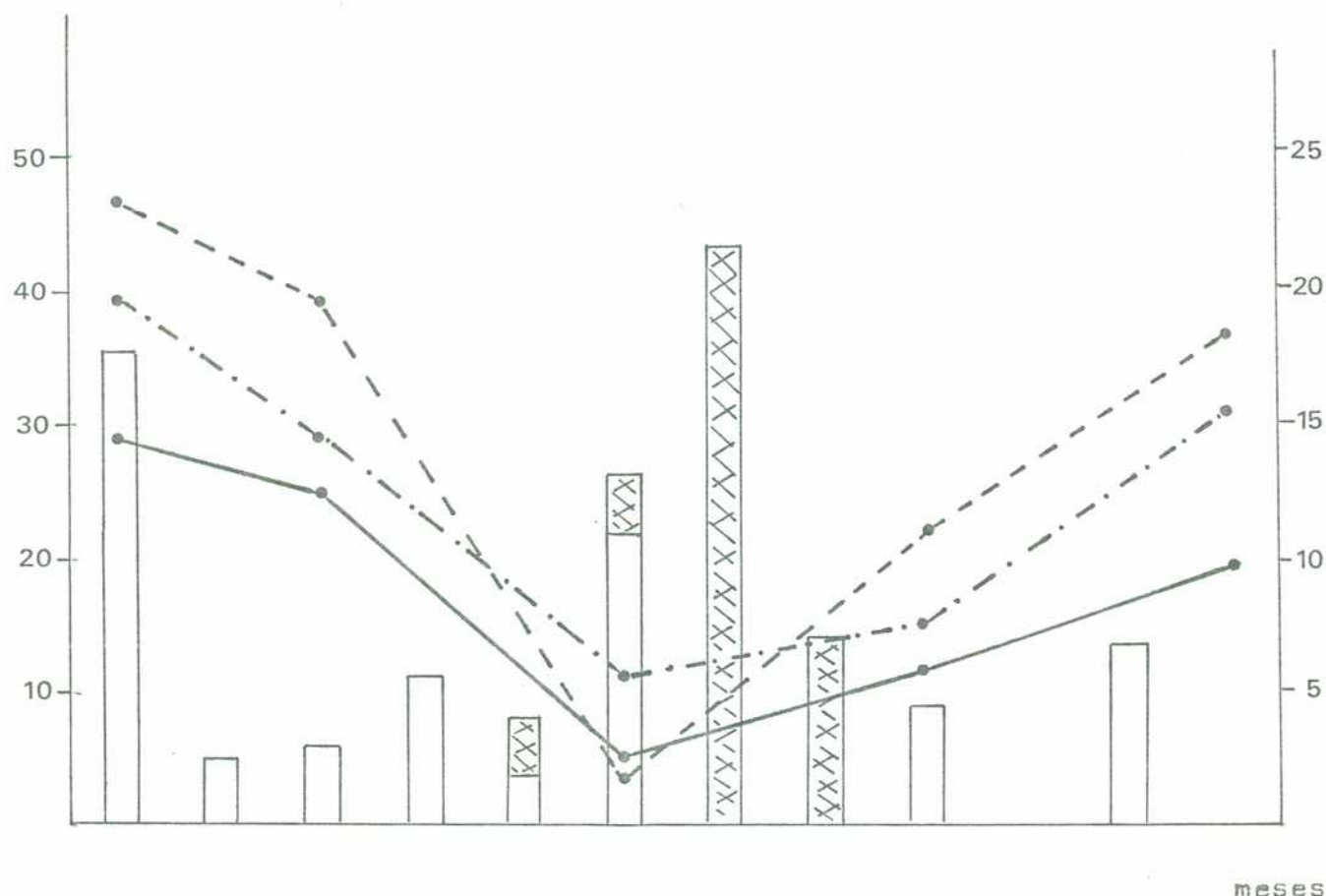


Figura III-1. Precipitación y Temperatura, Río Mayo, Chubut, 1975. Barras vacías, lluvia; barras cruzadas, nieve (1 cm= 1 mm). — Temperatura promedio del aire; -·-·-·- Temperatura del suelo 0-5 cm; - - - - - Temperatura del suelo -25 cm. (Tomado de Soriano, A. 1976).

Esta situación persiste poco tiempo: el potencial agua desciende rápidamente y la temperatura se eleva. A partir de diciembre es razonable suponer que muy poca descomposición pueda ocurrir. Hacia fines del otoño las condiciones se hacen nuevamente favorables, por mayor contenido hídrico del suelo y temperaturas moderadas. Pero este último factor en seguida vuelve a hacerse limitante, por lo que en el invierno es previsible que también los procesos de degradación se vean reducidos a su mínima expresión. De manera que la descomposición de celulosa procederá a un ritmo efectivo sólo durante la primavera y el tramo final del otoño, y esto inclusive dentro de los límites que marca la oferta climática.

A diferencia de las condiciones que se dan en la Depresión del Salado al respecto, donde los períodos desfavorables son excepcionales (cf. II.6), aquí son estos últimos los que prevalecen. Los

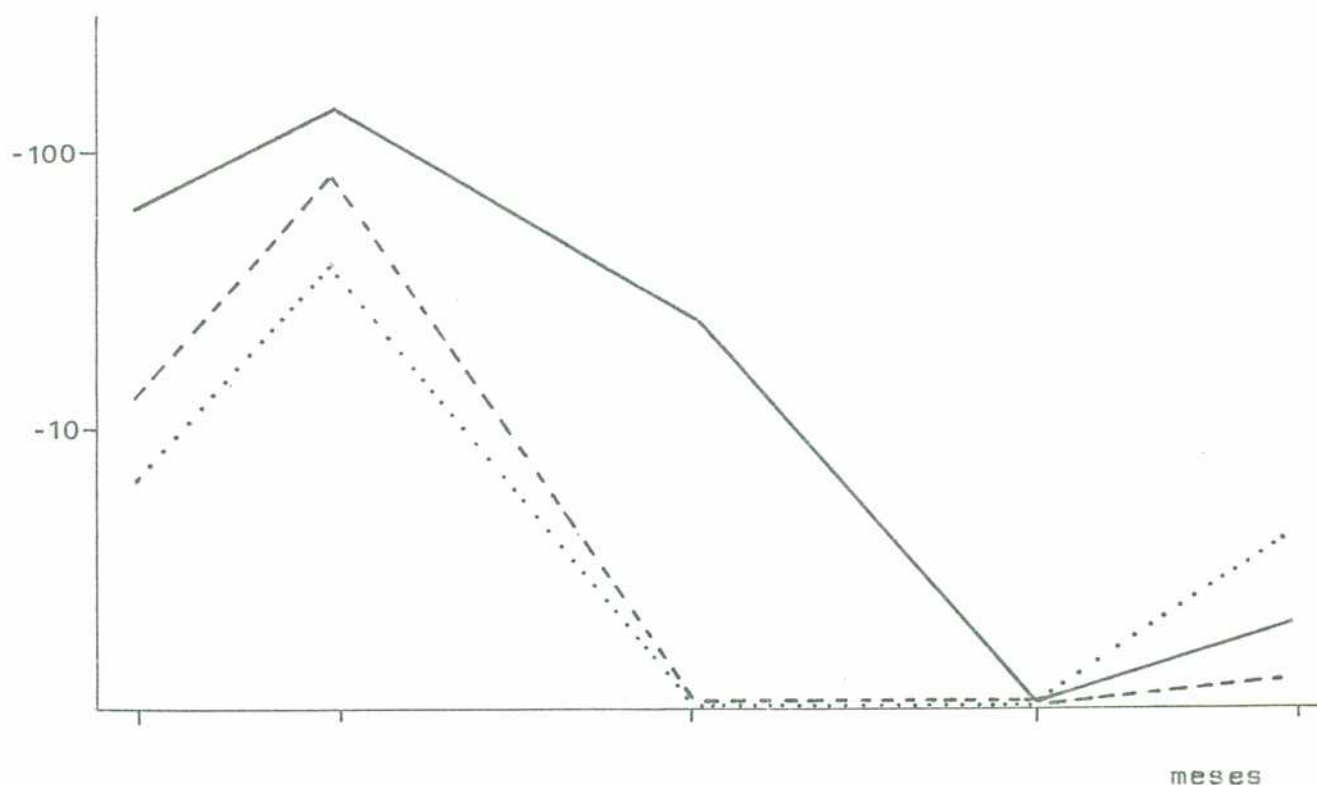


Figura III-2. Potencial agua del suelo, en atmósferas, en los diferentes meses. — 30 cm; ---- 10-20 cm; 0-5 cm. Valores superiores a -1 atm., graficados como -1 atm. (Tomado de Soriano, A., 1976).

cortos períodos favorables variarán en extensión y oportunidad de año en año, lo cual prioriza la importancia de la historia de cada ensayo. En función del momento en que comience y de las particulares condiciones climáticas que se den en cada uno de ellos, se producirá la evolución de los mismos. El resultado podrá ser que ensayos similares en cuanto a su duración total, pero comenzados en distintas épocas del año o en el mismo mes pero de distintos años puedan arrojar datos de descomposición disímiles.

Las consideraciones señaladas hasta aquí podrían dar cuenta de las irregularidades observadas en los datos. Sin embargo, no debe descartarse la posibilidad de que existan reales diferencias dentro del área de estudio en lo que hace a su capacidad de degradación de la celulosa. Pequeñas diferencias de microrelieve pueden variar las condiciones de humedad del suelo de un punto a otro; siendo la oferta de agua muy limitada, y representando ésta un factor de primer orden para la descomposición de materia orgánica, la disponibilidad de humedad puede haber sido diferente en los distintos sitios de colocación de las muestras, afectando los ritmos de degradación.

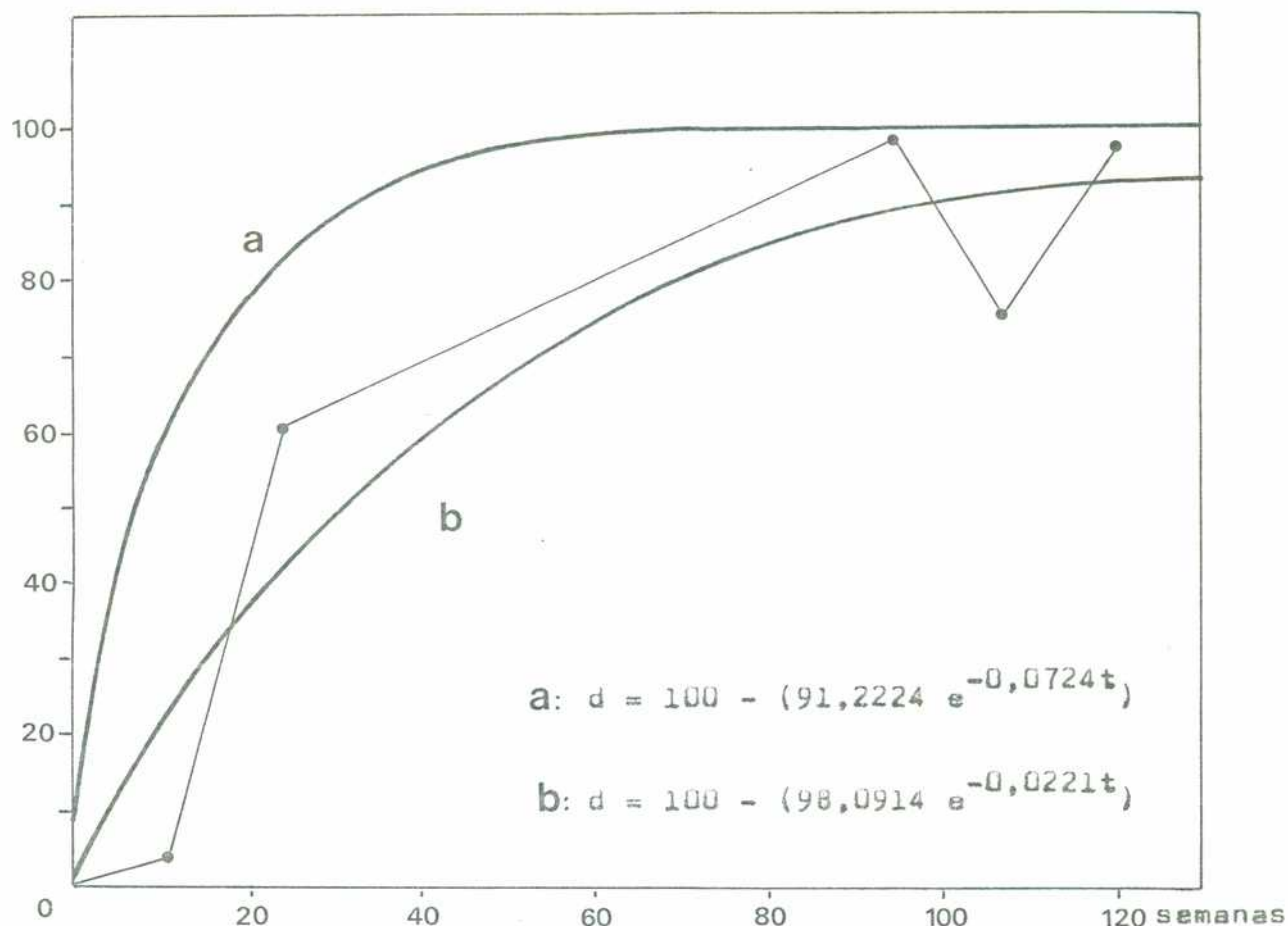


Figura III-3. Descomposición porcentual de la celulosa en relación con el tiempo de permanencia en semanas. Los puntos representan los valores medios de cada ensayo.

Los valores medios de descomposición de cada ensayo se han representado en un gráfico en relación con los tiempos de permanencia de las muestras en el suelo (figura III-3). Esto es solamente análogo a los gráficos representativos de los ensayos hechos con tiras de tela de algodón en la Depresión del Salado, en los que todas las muestras se colocaron simultáneamente en el suelo al comienzo de la experiencia y donde las curvas resultantes representaban el desarrollo de un único ensayo (cf. II.3.2. a II.3.7.). A pesar de las irregularidades señaladas, llama la atención que los puntos parecen ajustarse a una exponencial del tipo usado para aquellos experimentos.

Por medio de la regresión lineal del logaritmo natural del remanente porcentual de celulosa sobre el tiempo de permanencia en se-

manas, utilizando todos los datos unitarios, se calculó el parámetro k . Para realizar los cálculos, fue necesario considerar de una manera particular los numerosos casos en que se presentaba un 100 % de descomposición. En efecto, si el remanente es cero, el $\ln r$ es igual a $-\infty$, y estos valores no pueden ser entrados en los cálculos de los parámetros de la recta de regresión. Llevando el planteo del lenguaje matemático a la realidad experimental, se verifica que hay una indeterminación: de estas muestras que sufrieron una descomposición total, no puede saberse en qué tiempo esto ocurrió. En el momento de desenterrarlas ya habían sido totalmente degradadas y ese momento anterior en el tiempo en que el proceso se completó permanece desconocido.

Puede recurrirse a un artificio con objeto de no desechar estos datos en el cálculo de la recta de regresión: decidir que estas muestras presentaban un remanente muy pequeño del material original, no detectable, y tomar como tal el límite de precisión con que se determinaron todos los pesos, es decir 0,0001 gramos. Se procedió de esta forma y se obtuvo una recta de regresión de $\ln r$ sobre t donde k resultó igual a -0,0724. Con este valor, por medio de la ecuación

$$d = 100 - r_0 e^{-kt}$$

ya definida anteriormente (cf. II.3.2.), se calcularon los valores estimados de d (descomposición porcentual) que se representan en la curva a de la figura III-3. Se observa que ésta se aparta sensiblemente de los valores medios experimentales (cálculos en la tabla III-2).

Si se desechan los datos unitarios con 100 % de descomposición, por regresión se obtiene un valor de k diferente, con el que, utilizando la ecuación escrita más arriba se consigue una curva que se ajusta relativamente bien a los valores medios experimentales (curva b de la figura III-3; cálculos en la tabla III-2). Sin embargo, ésta puede ser cuestionada porque para calcularla se han eliminado los valores más altos de descomposición, con lo cual se está subestimando la real capacidad de ese suelo para degradar la celulosa.

Como conclusión, cabe señalar que el procedimiento de colocar las muestras en el suelo y dejarlas durante un tiempo prolongado no parece ser eficiente. Se obtienen mejores resultados practicando retiros escalonados, sin que sea necesario que los períodos entre estos sean iguales, lo que permite flexibilizar el cronograma de tareas de campo. Es conveniente suspender los ensayos cuando los datos unitarios de descomposición se acercan al 100 %, con objeto de evitar que se produzcan casos de remanente cero que redundan en una pérdida irrecuperable de información.

CONCLUSION

El presente trabajo debe ser considerado como una primera aproximación al estudio de la descomposición de materia orgánica en ecosistemas de pastizal. En nuestro país, este tipo de investigaciones sólo recientemente ha comenzado.

El ritmo de descomposición de celulosa fue determinado en una variedad de situaciones. En la Depresión del Salado (Buenos Aires), utilizando papel de filtro como material celulósico y permaneciendo las muestras en el suelo por un período de 2 meses, se observó que la degradación producida fue mayor en el área clausurada al pastoreo durante 5 años, con respecto al mismo pastizal en condiciones de explotación, tanto a la profundidad de enterramiento de 5 cm como a 15 cm. Esto confirma que la destrucción de celulosa por parte del suelo guarda relación con características o condiciones del ecosistema, y, en particular en sistemas de pastizal, con la interrupción del pastoreo, lo que se traduce en un cambio del flujo de energía, que se desvía de los grandes herbívoros hacia las cadenas de desintegradores. En este mismo ensayo, se manifestó una tendencia, aunque sin alcanzar significación estadística, de diferenciación de otra área protegida por un período de sólo 6 meses al pastoreo, en cuanto a su capacidad de descomposición con respecto al pastizal explotado. Esto explica que, una vez cerrada un área al apacentamiento, se produce una rápida evolución hacia la situación manifestada por la clausura de mayor antigüedad.

La capacidad de descomposición de celulosa está relacionada con los factores ambientales, particularmente con la temperatura y el balance hídrico. En el ensayo mencionado en la Depresión del Salado, un valor del 60,3 % de degradación se alcanza en 8 semanas en el área protegida y a 5 cm de profundidad. En un pastizal de Chubut, en un área clausurada por 4 años al pastoreo y a la misma profundidad, un valor similar, 61,3 %, se alcanzó después de una residencia de las muestras de 24,4 semanas. Las precipitaciones del primer caso cuadruplican a las del segundo, oscilando las temperaturas en un intervalo de 10 °C (temperaturas medias); en Chubut, las oscilaciones diurna y estacional son mayores. Los valores de potencial agua del suelo en esta zona alcanzan las -100 atmósferas, mientras que en el área de estudio de la Depresión del Salado no exceden de las -4 atmósferas.

En los ensayos realizados en esta última zona con tiras de tela de algodón como material celulósico, con retiros escalonados de las muestras, los datos obtenidos revelan un aumento progresivo y regular del grado de descomposición paralelo al tiempo de permanencia. Los valores medios experimentales pudieron ser ajus

tados a expresiones matemáticas exponenciales del tipo de las que describen las reacciones químicas de primer orden. Esto permitió generar mayor información, útil para establecer comparaciones, como es el caso del cálculo de los semiperíodos de las muestras, o para conocer mejor el fenómeno en estudio, como la determinación de la curva de velocidad de descomposición. Esta última muestra una gradual disminución con el tiempo, y una caída proporcionalmente mayor cuando se parte de velocidades iniciales más altas. La disminución progresiva de la velocidad explica el hecho de que, después de 2 años, todavía se haya encontrado material sin descomponer en los ensayos de Chubut, a pesar de que en 5,7 meses (24,4 semanas) se registraba un valor de degradación del 61,3 %.

Las vidas medias en los experimentos realizados con tiras de algodón en la Depresión del Salado también evidenciaron las condiciones imperantes en cada uno de ellos, siendo inversas a la intensidad del ritmo de descomposición. El mayor valor correspondió al caso del pastizal pastoreado a la profundidad de colocación de 15 cm, 60,8 semanas; el menor, al área protegida con las muestras colocadas al nivel superficial, 15,4 semanas.

En general siempre se manifestó mayor degradación en las áreas clausuradas con respecto al pastizal explotado, y en el nivel superficial con respecto al nivel profundo, siendo en algunos casos las diferencias significativas estadísticamente y en otros no.

Lo segundo concuerda con el hecho de que la biomasa microbiana, principal reponsable de los fenómenos de descomposición, se concentra en los primeros centímetros del perfil. Además, se halló interacción entre la situación de clausura al pastoreo y la profundidad de colocación, lo que obligó al replanteo de los métodos estadísticos utilizados.

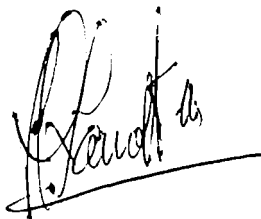
En los ensayos con tiras de algodón y retiros periódicos, lo que se reveló más útil para establecer comparaciones entre ellos fue el parámetro k , obtenido como coeficiente de regresión del logaritmo natural del remanente porcentual de celulosa sobre el tiempo de permanencia, el que puede interpretarse como una tasa intrínseca de descomposición. Las comparaciones entre los k se realizaron mediante una modificación del test de Student conocida como método de la varianza, el que, integrando al cálculo todos los datos unitarios con que se hallaron los k , permite gran seguridad y resolución en la consideración de la significatividad de las diferencias entre ellos. De esta manera se pudieron validar muchas relaciones importantes, como la diferenciación del ritmo de descomposición de la clausura de 5 años tanto con respecto al pastizal pastoreado como de la clausura de 6 meses de antigüedad, a nivel superficial y profundo. También se halló significativa la diferencia entre los k de ambos niveles en las dos clausuras y en el pastizal explotado, es decir, de esta forma se valida la idea

de que, dejando las muestras suficiente tiempo en el suelo, debe manifestarse diferenciación entre los niveles superficial y profundo.

El mayor valor de k determinado fue de $-0,0451$ (mayor valor absoluto), correspondiente a la clausura de 5 años a nivel superficial; el menor, $-0,0114$, relativo al pastizal pastoreado a 15 cm de profundidad. Los valores teóricos de descomposición porcentual de la celulosa, correspondientes, fueron de 55,1 % y 19,5 %, a las 18 semanas, tiempo de duración máxima de los ensayos.

El método desarrollado para estimar el aporte de broza al suelo, permitió calcular éste en las áreas protegidas y en el pastizal explotado del área de la Depresión del Salado. La diferencia entre el aporte en la zona clausurada durante 5 años, de 113,6 gramos/metro cuadrado (1136 kg/ha), y el del pastizal pastoreado, 18,8 gramos/metro cuadrado (188 kg/ha) en el mismo tiempo de 18 semanas, muestra cómo se modifica la partición del flujo de energía en favor de las cadenas de desintegradores al producirse el retiro de los grandes herbívoros.

El aporte de broza estimado en la clausura mencionada fue comparado con el valor obtenido en el mismo lugar por otro método (Sala et al., 1978), el que resultó igual a 6,56 kg/ha/día, lo que generalizado al período de 18 semanas, da un valor de 84,6 gramos/metro cuadrado (846 kg/ha), el que resulta coherente con el obtenido en este estudio. Se debe considerar que este dato de 84,6 gramos/metro cuadrado ha sido hallado por el método de la diferencia entre cosechas periódicas, sin considerar la descomposición ocurrida entre las recolecciones; por lo tanto, es razonable que arroje un valor de aporte más bajo, porque éste está subestimado.




BIBLIOGRAFIA

1. AMEGHINO, F.: Las secas y las inundaciones en la Provincia de Buenos Aires. 1886. Ministerio de Asuntos Agrarios, La Plata, 3a.ed., 1969.
2. ATLAS, Ronald y HUBBART J.S.: Applicability of radiotracers methods of measuring $^{14}\text{-CO}_2$ assimilation for determining microbiological activity in the soil. Microbiological Ecology, tomo I, N° 3: 145-163, 1974.
3. BANCROFT, H.: Introducción a la Bioestadística. EUDEBA, traducción castellana, 1960.
4. BERGEY's Manual of determinative bacteriology. 8a. ed. BUCHANAN R.E. y GIBBONS N.E., co-editores. Williams et Wilkins Co, Baltimore, USA, 1974.
5. BONNIER G. y TEDIN O.: Bioestadística. Ed. Acribia, Zaragoza, España, traducción castellana, 1965.
6. CAPELLETTI, R. Estadística Biológica. Ed. Grijalbo, Buenos Aires 1970.
7. CRAMER, H.: Elementos de la teoría de probabilidades. Ed. Aguilar, traducción castellana, Madrid, 1966.
8. DEPARTMENT OF AGRICULTURE, Committee Report: A standardized procedure for residue sampling. US Report of Agr. Res. Serv. 41 N° 68, 1962.
9. DOMERGES, Y. y MANGENOT F.: Ecologie microbienne du sol. Masson et Cie., Paris, 1970.
10. EDWARDS, C.A.; REICHLE, D.E. y CROSSLEY D.A.: The role of soil invertebrates in turnover of organic matter and nutrients. Ecological Studies N° 1, ed. por REICHLE D.E.
11. GEIGY J.R. S.A.: Tablas científicas. 6a. ed., traducción castellana, Sociedad Alianza de Artes Gráficas, Barcelona, España, 1965.
12. GNEDENKO B.V. y JINCHIN A.I.: Introducción al cálculo de probabilidades. Edit. Univers. de Buenos Aires, traducción castellana, 1962.
13. GNITTKE, J.; KUNZE, Ch. y STEUBING L.: Microbial transformation of organic material in the soil. Ecological Studies N° 2: Integrated experimental Ecology, ed. por ELLEMBERG, H.

14. HEATH, G.W.; ARNOLD, M.K. y EDWARDS, C.A.: Studies in leaf litter breakdown. I. Breakdown rates of leaves of different species. *Pedobiologia*, Bd. 6, :1-12, 1966.
15. HEATH, G.W. y ARNOLD, M.K.: Studies in leaf breakdown. II. Breakdown rate of "sun" and "shade" leaves. *Pedobiologia*, Bd. 6: 238-243, 1966.
16. JANSSON, S.L. y CLARK, F.E.: Losses of Nitrogen during decomposition of plant material in the presence of inorganic Nitrogen. *Soil Science Soc. Am. Proc.* 16, 330-334, 1952.
17. KLEIN, D.A.: Microbial decomposer activities at the Pawnee site: Integration of experimental approaches with program modeling requirements. U.S. International Biol. Prog., Techn. Report N° 110, 1971.
18. LAMOTTE, M.: *Estadística Biológica*. Ed. Toray-Masson, traducción castellana, Barcelona, España, 1965.
19. LEISMAN, G.A.: The rate of organic matter accumulation on the sedge mat zones of bogs in the Itasca State Park region of Minnesota. *Ecology* 34: 81-101, 1953.
20. LENGKEEK, J.H. y PENGRA, R.M.: Carbon dioxide evolution and cellulose, root and litter decomposition in soils at the Cottonwood site. *Intern. Biol. Progr., Tech. Report* N° 233, 1972.
21. LEON, R. La vegetación natural de la región Castelli-Pila. *Productiv. Primaria Neta de Sistemas Herbáceos*. I. La Plata, 1975. *Com. Investig. Cient. Monografías* 5.
22. MARGALEF, R.: *Ecología*. Ed. Omega, Barcelona, España, 1974.
23. MONTEITH, J.L.; SZEICZ, G. y YABUKI, K.: Crop photosynthesis and the flux of carbon dioxide below the canopy. *Journ. of Applied Ecology*, 1: 321-387, 1965.
24. MAY, S.W.: Microbial decomposition and CO₂ evolution at the Usage site. *Intern. Biol. Programme*, 1972.
25. MAYEUX J.V. et al.: Bacterial ecology of grasslands soils, Pawnee site. *U.S. Intern. Biol. Programme*.
26. MUJIA, C.: Relevamiento fisiográfico de la región Castelli-Pila *Productividad Primaria Neta de Sistemas Herbáceos I. La Plata*, 1975.
27. NYHAM, J.W.: Sampling mixtures of soil and carbon-14-labeled plant materials. *Soil Science Soc. of America Proc.* vol 39 N° 2, 380-382, 1975.

28. NYHAM, J.W.: Decomposition of Carbon -14-labeled plant materials in a grassland soil under field conditions. Soil Science Soc. of America Proceed. vol 39 n° 4: 643-648, 1975.
29. ODUM, Eugene P.: Ecología. Ed. Interamericana, 3a. ed., traducción castellana, México, 1972.
30. ORELLANA J.A. y EMILIANI F.: Método para procesar muestras en estudios ecológicos de suelos. Idia suplemento n° 29, INTA, 1973.
31. PAUL, E.A.; BIEDERBECK, J.O.; LOWE, W.E.; SHIELDS, J.A. y WILLARD, J.R.: Soil microorganisms: II. Decompositions of cellulose and plant residues. Canadian Comm. Intern. Biol. Programme, Saskatoon, Canadá, 1974.
32. POCHON, J. y BARJAC, H.: Traité de microbiologie des sols. Ed. Dunod, París, 1958.
33. RICHARDS, B.N.: Litter bag studies of microarthropod populations in three Carolina old fields. Ecology 55(1) 94-102, 1974.
34. SALA, O.; DEREGIBUS, J.A.; SCHLICHTER, T. y ALIPPE, H.A.: Aspectos del funcionamiento de un pastizal de la Depresión del Salado. Productividad Primaria Neta de Sistemas Herbáceos III. Monografías 8, La Plata, 1978. Com. Invest. Cient.
35. SALA, O.; SURIANO, A y PERELMAN, S.: Relaciones hídricas de algunos componentes de un pastizal de la Depresión del Salado. Rev. Facultad de Agronomía, tomo 2, n°1, 1981. Buenos Aires.
36. SURIANO, A.: Biología del pastizal de coirón amargo (*Stipa* spp.) del Sudoeste de Chubut. Academia Nac. Agronomía y Veterinaria, tomo XXX, N° 11, Buenos Aires, 1976.
37. TRICART, J.L.F.: Geomorfología de la Pampa Deprimida. Inst. Nac. Tecnol. Agropecuaria, Buenos Aires, 1973.
38. VALENCIA, R.J.: Los suelos de la región Castelli-Pila. Productividad Primaria Neta de Sistemas Herbáceos I. Com. Inv. Cient. Monografías 5, La Plata, 1975.
39. VON BERTALANFFY, L.: Teoría general de los sistemas. Fondo de Cultura Económica, traducción castellana, 1976, Madrid.
40. WAKSMAN, S.A.: Soil microbiology. J. Wiley & Sons, Inc. New York, 1952.
41. WIEGERT R.G.; COLEMAN, D.C. y ODUM, E.P.: Energetics of the litter-soil subsystem. Proc. Symposium, Methods of Study in Soil Ecology, Int. Biol. Prog.-UNESCO, París .